

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Institut dopravy

Měření emisí a komprese zážehového

spalovacího motoru

**Measuring of Emissions and Compression of Internal
Combustion Engine**

Student:

Dominik Malý

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Michal Richtář

Ostrava 2013

Zadání bakalářské práce

Student: **Dominik Malý**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2301R003 Dopravní technika a technologie
Téma: **Měření emisí a komprese zážehového spalovacího motoru**
Measuring of Emissions and Compression of Internal Combustion Engine

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Popis zážehového motoru
3. Popis měření emisí a komprese zážehového spalovacího motoru
4. Vlastní měření emisí a komprese zážehového spalovacího motoru
5. Vyhodnocení měření a doporučení
6. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:


Matějka, R.: Vozidla silniční dopravy I. Bratislava: 1990. ISBN 80-05-00392-7
Matějka, R.: Vozidla silniční dopravy II. Bratislava: 1990. ISBN 80-7100-074-4
Vlk, F.: Zkoušení a diagnostika motorových vozidel. Brno: Vlk. 2001
Vlk, F.: Motorová vozidla I, Brno: VUT Brno. 1989. ISBN 80-214-0038-2

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Michal Richtář**

Datum zadání: 14.12.2012
Datum odevzdání: 20.05.2013





doc. Ing. Aleš Slíva, Ph.D.
vedoucí katedry

doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 17. 5. 2013


.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.

- беру на ве́доміі, же Высoкá škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).

- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.

- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.

- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (ať do jejich skutečné výše).

- беру на ве́доміі, же odevздáнім své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 17. 5. 2013


.....
podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce: Dominik Malý

Adresa trvalého pobytu autora práce: Janáčkova 830/24, 697 01 Kyjov

Poděkování:

Poděkování patří hlavně mé mamince, která mě podporuje při studiu. Dále bych chtěl poděkovat svému vedoucímu práce Ing. Michalu Rychtářovi za odborné vedení a cenné rady. Děkuji také Ing. Jakubu Šmirausovi za odborné konzultace a pomoc při tvorbě mé bakalářské práce. Velký dík patří SOŠ a SOU automobilní Kyjov za poskytnutí prostoru dílen a vozidla, nezbytných pro realizaci mého projektu. Další poděkování bych rád vyjádřil učitelům odborných předmětů této školy Ing. Dušanu Neničkovi za rady a čas, který mi věnoval při řešení dané problematiky. Mé poděkování patří také učitelům odborného výcviku Stanislavu Kratochvílovi za vedení praktické části mé práce.

ANOTACE BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

DOMINIK MALÝ. Měření emisí a komprese zážehového spalovacího motoru. Ostrava: Institut dopravy, Fakulta strojní VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2013, 54 s. Bakalářské práce, vedoucí: Ing. Michal Richtář.

Bakalářská práce se zabývá problematikou zážehového spalovacího motoru u osobního automobilu. V obecné části popisuje zážehový spalovací motor, jeho funkce a údržbu zejména ve vztahu k tvorbě emisí a měření kompresních tlaků. V praktické části jsou uvedeny výsledky měření emisí a kompresních tlaků u vozidla Škoda Felicia před a po údržbě. Tyto výsledky jsou podrobeny diskusi s konkrétním závěrem a doporučením. Součástí bakalářské práce jsou přílohy s protokoly měření emisí a fotografická dokumentace.

Klíčová slova:

Zážehový motor, emise, komprese, údržba

ABSTRACT OF THE BACHELOR THESIS

DOMINIK MALÝ. Measuring of Emissions and Compression of Internal Combustion Engine. Ostrava: Institute of Transport, Faculty of Mechanical Engineering VŠB - Technical University of Ostrava, 2013, 54 p. Bachelor thesis, Supervisor: Ing. Michal Richtář.

This thesis deals with an internal combustion engine in a passenger car. In the general part the internal combustion engine, its function and maintenance, especially in relation to emissions and measurement of compression pressures are described. In the practical part the results of emissions and compression pressures of Škoda Felicia before and after the maintenance are described. These results are discussed with specific conclusions and recommendations. The thesis includes enclosures with protocols of emission measurements and photographic documentation.

Key words:

Petrol engine, emissions, compression, maintenance

OBSAH

1	ÚVOD	10
2	OBEZNÁ ČÁST	11
2.1	Zážehový spalovací motor	11
2.1.1	Spalovací motor	11
2.1.2	Základní části pístového spalovacího motoru	12
2.1.3	Základní parametry pístového spalovacího motoru	13
2.1.4	Čtyřdobý zážehový spalovací motor	16
2.1.5	Práce zážehového spalovacího motoru	16
2.1.6	Sací systém zážehového spalovacího motoru	19
2.1.7	Výfukový systém zážehového spalovacího motoru	21
2.1.8	Rozvody motorů	24
2.1.9	Mazání motoru	26
2.2	Emise zážehového spalovacího motoru	29
2.2.1	Emise	29
2.2.2	Zařízení na měření emisí	32
2.2.3	Popis měření emisí dle zákona č. 302/2001 Sb. § 1	33
2.3	Komprese zážehového spalovacího motoru	34
2.3.1	Komprese	34
2.3.2	Zařízení na měření komprese	34
2.3.3	Popis měření kompresního tlaku	34
2.4	Údržba	35
3	PRAKTICKÁ ČÁST	35
3.1	Popis vozidla	35
3.2	Údržba	37
3.3	Měření emisí	37
3.3.1	Vybavení stanice měření emisí	37

3.3.2	Postup měření emisí	38
3.4	Měření komprese	39
3.4.1	Zařízení na měření komprese	39
3.4.2	Postup měření zážehového spalovacího motoru	39
3.5	Výsledky	39
4	ZÁVĚREČNÁ DISKUSE A ZHODNOCENÍ	46
5	ZÁVĚR	47
	Seznam použitých zkratk a symbolů	48
	Seznam obrázků	49
	Seznam tabulek	50
	Seznam příloh	51
	Seznam použité literatury	52

1 ÚVOD

Osobní automobily jsou nedílnou součástí současného světa. Jejich výroba a spotřeba trvale roste a automobilový průmysl reprezentuje velmi důležité místo v ekonomikách vyspělých zemí včetně České republiky. Většina osobních automobilů je poháněna zážehovými spalovacími motory na rozdíl od nákladních automobilů, kde převažují motory vznětové.

Zážehový spalovací motor přeměňuje tepelnou energii na mechanickou práci. Při této přeměně dochází ke spalování směsi paliva se vzduchem. Důsledkem tohoto procesu jsou spaliny, které obsahují škodlivé látky - emise (CO , CO_2 , HC , NO_x). Tyto škodliviny negativně ovlivňují zdraví člověka a ohrožují životní prostředí.

Emise výfukových plynů, jejich tvorba a snižování je aktuální téma po celém světě. Evropská hospodářská komise neustále povolené limity škodlivých prvků snižuje. Od 1. září 2009 je v platnosti norma EURO V. Pro uživatele motorových vozidel jsou také v platnosti ekologické daně, které se při přepisu vozidel z jednoho majitele na druhého musí uhradit. Podíl škodlivin ve výfukových plynech je po zaevidování u automobilů kategorie M1 povinně kontrolován v STK po čtyřech letech a následně každé dva roky. Tento interval kontroly stanovuje vyhláška Ministerstva dopravy a spojů o technických prohlídkách a měření emisí vozidel č. 302/2001 Sb..

Výrobci automobilů uvádějí v servisní knížce úkony a lhůty pro pravidelnou údržbu. Cílem je zajistit dodržení emisních limitů, správnou funkci motoru a bezpečnost při provozu vozidla. Existuje však řada vlastníků osobních vozidel, kteří z řady důvodů, zejména ekonomických, se doporučením výrobců vozidel neřídí a údržbu svého vozidla podceňují.

Cílem mé práce bylo prokázat, že údržba a seřízení motoru má zásadní vliv na hodnotu emisí ve výfukových plynech. Provedl jsem měření emisí a kompresních tlaků na vozidle Škoda Felicia před a po údržbě, která zahrnovala výměnu vzduchového filtru, motorového oleje a olejového filtru a seřízení ventilové vůle u rozvodového mechanismu motoru. Toto téma práce jsem si zvolil, protože se zajímám o automobily, jsem absolventem automobilní školy a chtěl bych se věnovat automobilové technice i po skončení studia.

2 OBECNÁ ČÁST

2.1 Zážehový spalovací motor

2.1.1 Spalovací motor

Spalovací motor je tepelně hnací stroj, ve kterém se tepelná energie získaná spalováním vhodných plynných nebo kapalných paliv přeměňuje s poměrně vysokou účinností na mechanickou práci. Spalování paliv probíhá ve spalovacím prostoru motoru. Pracovní tlak je vyšší než tlak atmosférický.

Při změně tepelné energie na mechanickou práci se ve spalovacích motorech odehrávají termodynamické děje. Tyto děje tvoří pracovní oběhy - cykly spalovacích motorů. V průběhu těchto cyklů se mění stav a chemické složení pracovní látky.

Základní rozdělení spalovacích motorů

Pístové spalovací motory

- s přímočarým vratným pohybem pístu
- s krouživým pohybem pístu - Wankelův motor

Spalovací turbíny

Reaktivní motory

- proudové
- raketové

Pístové spalovací motory

Pístové spalovací motory pracují s periodicky se opakujícím pracovním dějem. Tento děj probíhá v pracovním válci. Palivo se spaluje ve spalovacím prostoru. Spalovací prostor tvoří objem pracovního válce.

Základní rozdělení pístových spalovacích motorů řeší norma **ČSN 09 0022**. Platnost této normy se vztahuje na pístové spalovací motory všech účelů a způsobů použití. Stanovuje definice a názvy pro jednotlivé druhy motorů. Dále také definuje základní pojmy pro rozřídění těchto motorů dle určitých hledisek. Platnost normy od 1. 1. 1993.

Základní rozdělení pístových spalovacích motorů s přímočarým pohybem pístu

Podle druhu paliva

- motory na kapalná paliva
- motory na plynná paliva

Podle principu činnosti

- motory čtyřdobé
- motory dvoudobé

Podle způsobu plnění válce

- motory plněné podtlakem - atmosférické
- motory plněné přetlakem - přeplňované

Podle způsobu zapálení směsi

- motory s umělým zažehnutím - zážehové
- motory se samočinným vznícením - vznětové

Podle uspořádání válců

- řadové
- ploché - boxery
- vidlicové

Podle použití rozvodu

- s rozvodem ventilovým
- s rozvodem šoupátkovým

Podle smyslu otáčení klikového hřídele

- pravotočivé
- levotočivé

2.1.2 Základní části pístového spalovacího motoru

Pístový spalovací motor se skládá ze tří konstrukčních skupin - z pevných částí motoru, pohyblivých částí motoru a příslušenství motoru.

Pevné - nepohyblivé části motoru

- blok válců - kliková skříň
- hlava válců
- spodní, horní víko motoru
- kryty
- těsnění

Pohyblivé části motoru

- klikový mechanismus (píst, pístní čep, pístní kroužky, ojnice, klikový hřídel, setrvačnick)
- rozvod motoru (ventilový, kanálový)

Příslušenství motoru

- chladicí soustava
- mazací soustava
- zapalovací soustava
- palivový systém
- spouštěcí zařízení
- zařízení na přípravu směsi a na odvod spalin

2.1.3 Základní parametry pístového spalovacího motoru

Horní úvrať HÚ

„Horní úvrať HÚ je poloha pístu, ve které je píst nejvíce vzdálen od osy klikového hřídele.“ [2]

Dolní úvrať DÚ

„Dolní úvrať DÚ je poloha pístu, ve které je píst nejbližší osy klikového hřídele.“ [2]

Vrtání válce D [mm]

Vnitřní průměr dutiny pracovního prostoru válce.

Zdvih pístu z [mm]

Dráha pístu mezi dolní a horní úvratí pístu.

Zdvihový objem válce V_{z1} [cm³]

Objem ve válci motoru omezený horní a dolní úvratí pístu. Velikost objemu se určí dle vzorce: [1]

$$V_{z1} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot z \quad [\text{cm}^3]$$

Kde:

D - vrtání válce [cm]

z - zdvih pístu [cm]

Zdvihový objem motoru V_z [cm³]

Zdvihový objem všech válců motoru. Velikost jeho objemu se určí dle vzorce: [1]

$$V_z = V_{z1} \cdot i_v \quad [\text{cm}^3]$$

Kde:

i_v - počet válců

Zdvihový poměr ξ

Vztah mezi zdvihem pístu z a vrtáním válce D . [1]

$$\xi = \frac{z}{D} \quad [-]$$

U zážehových motorů bývá $\xi = 0,6$ až $1,1$

Kompresní objem válce V_{\min} [cm³]

Jedná se o objem, který je vymezen pístem v poloze HÚ a spodní částí hlavy motoru.

Celkový objem válce V_{\max} [cm³]

Celkový objem ve válci omezený pístem v poloze DÚ a spodní částí hlavy motoru. Je dán součtem zdvihového a kompresního objemu válce. [1]

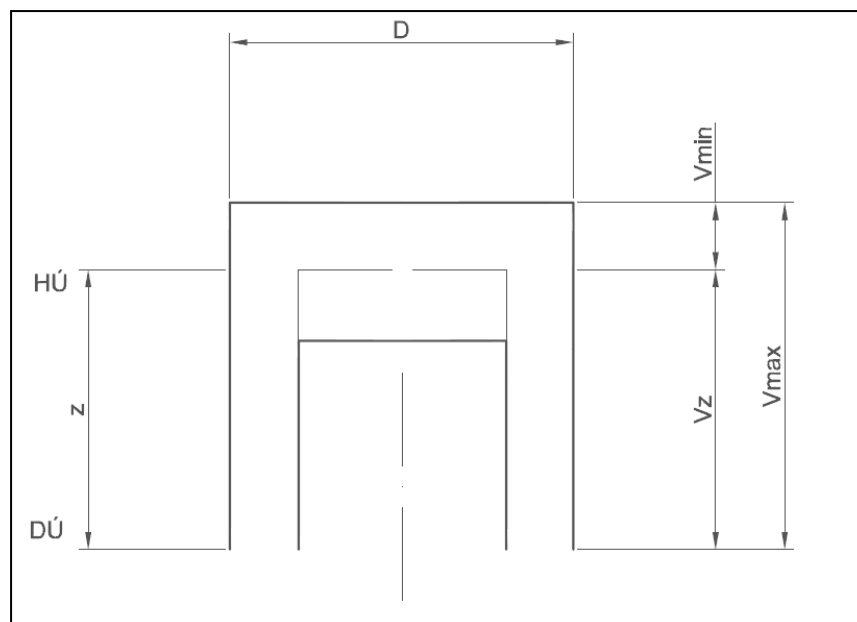
$$V_{MAX} = V_{MIN} + V_{Z1} \quad [\text{cm}^3]$$

Kompresní poměr ε

Poměr celkového a kompresního objemu [1]

$$\varepsilon = \frac{V_{MAX}}{V_{MIN}} \quad [-]$$

Výkon motoru a tepelná účinnost je závislá na kompresním poměru. Čím vyšší kompresní poměr, tím větší výkon a účinnost. U zážehových motorů se volí $\varepsilon = 8 - 10$.



Obr. 1: Zdvihový objem a kompresní poměr [1]

Efektivní výkon motoru P_e [kW]

Jde o výkon, který lze odebrat na hnacím hřídeli motoru. [1]

- motor čtyřdobý $\tau = 4$

$$P_e = \frac{p_e \cdot V_z \cdot n \cdot 2}{\tau} \cdot i_v \quad [\text{kW}]$$

Kde:

p_e – střední efektivní tlak [MPa]

V_z – zdvihový objem [m³]

n – otáčky motoru [s⁻¹]

i_v – počet válců [-]

τ – počet zdvihů/pracovní oběh [-]

Otáčky motoru n [min⁻¹]

Vyjadřují počet otáček klikového hřídele za jednotku času.

Největší dovolené otáčky n_{\max} [min⁻¹]

Největší otáčky povolené krátkodobě výrobcem.

Točivý moment motoru M_k [Nm]

Moment, který vystupuje z motoru na hnacím hřídeli. Efektivní výkon se pomocí točivého momentu M_m a otáček motoru n dá vypočítat v určitém provozním bodu motoru. [1]

$$P_e = M_k \cdot \omega = M_k \cdot 2\pi \cdot n \quad [\text{kW}]$$

Kde:

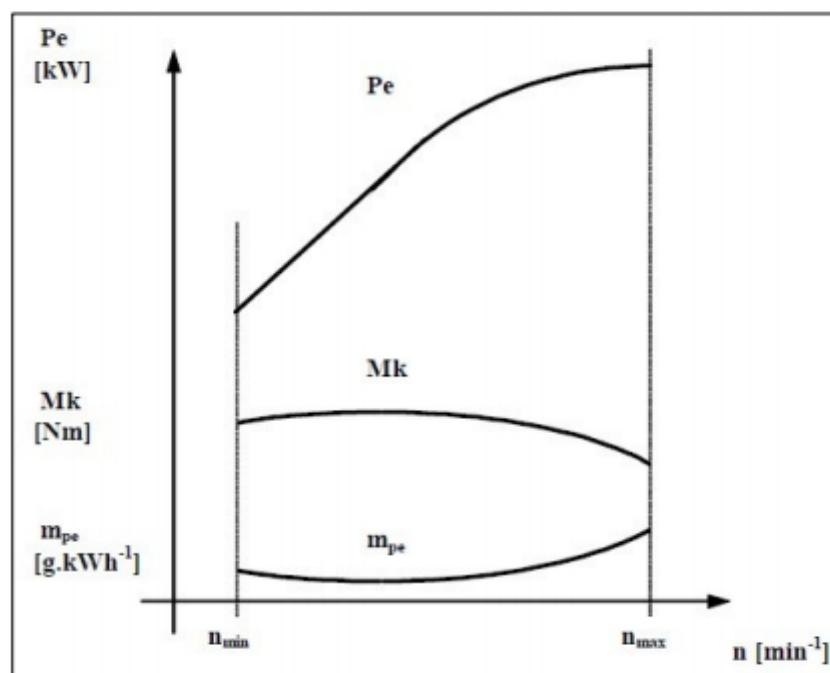
n - otáčky motoru [min⁻¹]

M_k - točivý moment motoru [Nm]

ω - úhlová rychlost [rad.s⁻¹]

Vnější rychlostní charakteristika

„Je to grafické znázornění závislosti točivého momentu motoru M_k , efektivního výkonu P_e a měrné spotřeby paliva m_{P_e} na otáčkách motoru n při plně otevřené škrtkové klapce.“ [2]



Obr. 2: Vnější rychlostní charakteristika motoru [23]

2.1.4 Čtyřdobý zážehový spalovací motor

Zdroj zážehu je realizován pomocí elektrického výboje (jiskry) na zapalovací svíčke umístěné mezi elektrodami. Směs paliva se stlačuje pouze pod teplotu vlastního samovznícení. Kompresní poměr (ϵ) bývá max. 12 (atmosférické motory). Jde tudíž o umělý zážeh směsi paliva a vzduchu. Směs se nedokáže sama za daného tlaku a teploty vznítit. Využívá se pro spalování lehkých kapalných paliv (benzín, petrolej, atd.).

Pracovní cyklus - oběh probíhá během čtyř zdvihů pístů, dvou otáček klikového hřídele. Pracovní cyklus se skládá ze čtyř fází: sání, komprese (stlačování), expanze (rozpínání), výfuk. Jedna fáze odpovídá jednomu zdvihu pístu. Náplň ve válci je přiváděna a odváděna pomocí rozvodového mechanismu. Čtyřdobý motor pracuje s účinností kolem 30%. [2]

2.1.5 Práce zážehového spalovacího motoru

1. **Sání** - píst se pohybuje z HÚ do DÚ. Nad pístem ve válci vytváří podtlak (10 - 20kPa). Směs - vzduch a palivo se mísí ve vstřikovacím zařízení v sacím potrubí nebo přímo ve válci po vstříknutí paliva. Poté tato směs proudí přes otevřený sací ventil do válce motoru. Výfukový ventil je zavřený. Pro zvýšení plnicí účinnosti a výkonu motoru se začíná sací ventil otevírat již od 10° - 40° před HÚ.

V tento moment končí předchozí doba - výfuk. Výfukové plyny proudí ven z válce a tím vzniká podtlak. Plnicí účinnost se pohybuje kolem 80%. K jejímu zvýšení je zapotřebí hladké sací potrubí, vhodný tvar spalovacího prostoru a také dostatečné chlazení. [2]

2. **Komprese (stlačování)** - píst se pohybuje z DÚ do HÚ. Jak sací, tak výfukový ventil je zavřen. Tím dochází ke stlačování směsi. Při stlačování se zvyšuje tlak i teplota. Na konci komprese dosáhne tlak hodnoty až 1,8 MPa. Teplota se pohybuje mezi 350°C - 450°C. Při stlačování dochází k odpařování paliva a mísení se vzduchem. [2]

3. **Expanze** - zápalná směs je zažehnuta elektrickým výbojem (jiskrou) mezi elektrodami svíčky. Oba ventily jsou zavřeny. Čas mezi přeskokem jiskry a rozvinutím čela plamene (plamenové fronty) je cca 0,001 s. Z důvodu správného hoření směsi přeskakuje jiskra v závislosti na otáčkách motoru již 0° až 45° před HÚ. Teplota se pohybuje mezi 2 000°C - 2 500°C.

Tlak má hodnotu 4 MPa - 6,5 MPa. Podstatná část hoření končí zhruba 40° za HÚ. Píst se pohybuje z HÚ do DÚ a tepelná energie směsi se mění na mechanickou práci. Tlaková síla působí na píst a tlačí ho do DÚ. Přenáší na ojnici, klikový hřídel a dále až na hnací kola. Expanze je jedinou z fází pracovního cyklu, která je pracovní. [2]

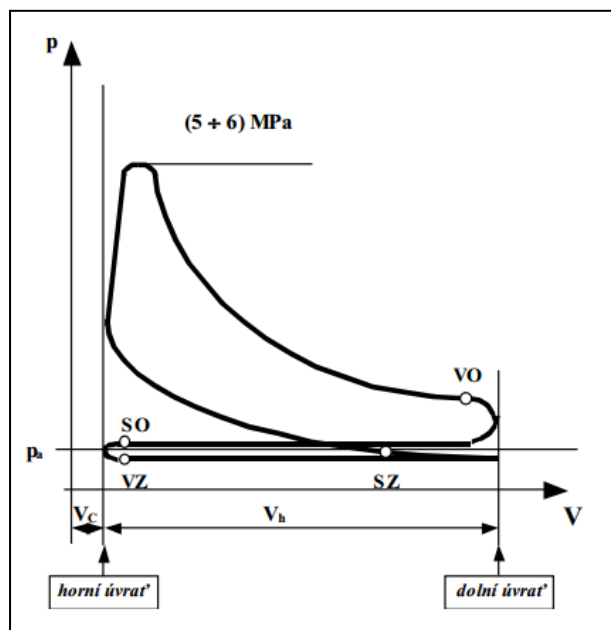
4. **Výfuk** - před ukončením expanzního zdvihu se začne otevírat výfukový ventil (35° - 90° před HÚ). Ve válci je stále velký tlak (0,25 MPa - 0,40 MPa). Výfukové plyny začínají proudit výfukovým dále do výfukového kanálu a výfukového potrubí. Píst se pohybuje z DÚ do HÚ. Dochází k vytlačování výfukových plynů z válce. Výfukový ventil se uzavírá až za HÚ (0° - 30°), tím se dosáhne co nejlepší výplach výfukových plynů. Současně se začne otevírat i sací ventil. Tento děj nazýváme střih ventilů. [2]

Indikátorový diagram P - V

*„Skutečný tepelný oběh vyjadřuje závislost změny tlaku plynů ve válci motoru **p** na okamžité velikosti spalovacího prostoru **V**. [1]* Indikátorový diagram je značen v pravoúhlém souřadnicovém systému. Na svislou osu vynášíme **p** - tlak a na vodorovnou osu **V** - objem.

Skutečný tepelný oběh - tento děj probíhá u reálných motorů se skutečnou náplní, která během pracovního průběhu mění své chemické a fyzikální složení. Teplo se vyvíjí v závislosti na spalování paliva. „Mezi pracovní náplní a okolím nastává výměna tepla, měrné teplo náplně se mění s její teplotou a chemickým složením. Píst ve válci se pohybuje s třením a netěsnostmi, pracovní náplň se vyměňuje, všechny změny probíhají konečnou rychlostí.“ [1]

Spalování čerstvé směsi probíhá v motoru jen s omezenou rychlostí. Proto u skutečného oběhu jsou přechody jednotlivých dějů zaobleny. U reálných motorů k tepelným ztrátám také připočítáváme ztráty hydraulické.



Obr. 3: Indikátorový diagram čtyřdobého zážehového motoru[1]

Tab. 1 Tlaky a teploty ve válci čtyřdobého zážehového motoru [2]

T [°C] - konec komprese	350 - 450
T [°C] - maximální	2 000 - 2 500
T [°C] - výfukových plynů	800 - 900
p [MPa] - začátek výfuku	0,25 - 0,40
p [MPa] - konec komprese	1,00 - 1,80
p [MPa] - maximální	4,00 - 6,50

Spalování paliva

V pracovním prostoru pístového spalovacího motoru se odehrává v krátký čas složitý fyzikálně chemický děj, který se při každém oběhu opakuje. Rozhodující vliv na hoření

směsi má teplota, tlak, složení směsi, okamžik zapálení směsi, včetně intenzity a způsobu pohybu náplně ve válci. Při průběhu plnicího zdvihu se benzin téměř odpaří. Vzniklou směs lze považovat za stejnorodou. Tato směs svými vlastnostmi je shodná se směsí plynou. Zapálení elektrické jiskry vyvolá hoření ve vrstvě. U turbulentního proudění má tvar kulové plochy o hloubce 20 - 25 mm. Rychlost šíření je 20 - 60 m.s⁻¹.

Hoření může mít jak normální průběh, tak i abnormální průběhy. Tyto chybné průběhy mohou být vyvolány detonačním hořením, předzápaly, samozápaly, pozdním zážehem nebo předčasným zážehem. [2]

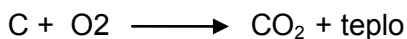
Součinitel přebytku vzduchu λ

„Součinitel přebytku vzduchu vyjadřuje poměr skutečně přivedené hmotnosti vzduchu potřebné pro stechiometrické spalování.“ [1]

$$\text{Součinitel přebytku vzduchu } \lambda = \frac{\text{množství přivedeného vzduchu [kg]}}{\text{teoretická potřeba vzduchu [kg]}} \quad [1]$$

Dokonalé spalování

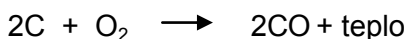
$\lambda = 1$ Hmotnost vzduchu, která je přiváděna, odpovídá teoretické potřebě. K dokonalému spalování je zapotřebí na 1kg benzínu nejméně 14,8 kg vzduchu. Jedná se o tzv. teoretický směšovací poměr (1 l benzínu - 10 000 l vzduchu). [2]



Nedokonalé spalování

$\lambda < 1$ Bohatá směs, nedostatek vzduchu (1 kg benzínu na 13 kg vzduchu). Jedná se o špatné spalování uhlíku na oxid uhelnatý (CO). Nejvyššího výkonu se dostává v rozmezí $\lambda = 0,85 - 0,95$.

$\lambda > 1$ Chudá směs, přebytek vzduchu (1 kg benzínu na 16 kg vzduchu). Pokud je směs chudá snižuje se výkon motoru a spotřeba paliva. Dochází k horšímu chlazení motoru, které může vést k přehřátí. Platí pro rozmezí $\lambda = 1,05 - 1,3$. [1], [2]



2.1.6 Sací systém zážehového spalovacího motoru

Prvořadým úkolem sacího systému je zajistit rovnoměrný přívod nové náplně (směsi paliva a vzduchu) do jednotlivých válců motoru. Odpory vznikající proti pohybu nasávaného vzduchu jsou minimalizovány samotnou konstrukcí sacího systému. Jednak

vytvořením plynulých obrysů a také zamezením náhlých změn směru toku vzduchu. To je hlavním požadavkem na konstrukční řešení sacího systému. Geometrické provedení sacího potrubí má výrazný vliv na točivý moment motoru. Důležité je co nejlepší naplnění jednotlivých válců motoru. Jak v různých pracovních režimech, tak i při plném výkonu motoru. Tlaková ztráta vzduchu, který je přiváděn do spalovacího motoru se pohybuje od 3,5 do 5 kPa. U moderních řešení sacího systému se zavedením části výfukových plynů zpět do sání motoru docílí snížení emisí. Z pohledu kvality spalování benzínu a následné tvorby emisí je velmi důležitá těsnost sacího systému, která se před měřením emisí kontroluje.

Optimální průběh točivého momentu motoru se může řešit přestavením sacího potrubí dle požadované situace v závislosti na otáčkách, zatížení a natočení škrtkové klapky a to:

- změnou délky sacího potrubí
- přepínání mezi odlišnými průměry a délkami sacího potrubí
- změnou objemu sběrného potrubí

Hlavní části sacího systému

- čistič vzduchu - nejdůležitější část sacího systému
- sací potrubí - doprava vzduchu od čističe vzduchu po sací kanál
- škrtková klapka - reguluje množství nasávaného vzduchu
- sací kanál - vstup vzduchu do válce motoru

Čistič vzduchu (vzduchový filtr)

Čistič vzduchu slouží k odstranění veškerých prachových částic. Zvyšuje se tím životnost motoru. Prach se dostává do motorového oleje a působí jako brusný prostředek, zanáší olejové čističe. Dalším úkolem je přehřívání nasátého vzduchu. Reguluje teplotu nasávaného vzduchu a také tlumí hluk sání. Základní vlastnost vzduchového filtru je prodyšnost filtračního papíru.

„Filtrační papír musí mít minimální odpor proti průtoku vzduchu, rovnoměrnou pórovitost, odolnost proti promáčení, dostatečnou odolnost proti roztržení a prodloužení, a tuhost.“ [1] Filtrační vložky se vyměňují v intervalech stanových výrobcem vozidla. Vzduchové filtry jsou nejčastěji umístěny v horní části motorového prostoru.

Druhy vzduchových filtrů

- skříňový (podběhový) čistič vzduchu
- centrální čistič vzduchu
- papírový cyklónový (kombinovaný) čistič vzduchu
- čistič vzduchu s olejovou lázní

2.1.7 Výfukový systém zážehového spalovacího motoru

Hlavním úkolem výfukového systému je odvod spalín z motoru a minimalizace emisí. Požadavkem je, aby odvod spalín měl co nejmenší odpor při proudění výfukovým systémem a minimalizoval se hluk, který je vytvářen prouděním výfukových spalín. Další nezbytnou úlohou výfukového systému je, aby při snižování hluku proudu výfukových spalín se co nejméně omezoval výkon motoru. Celý výfukový systém musí být dostatečně těsný. Výfukový systém a jeho údržba významně ovlivňuje emise.

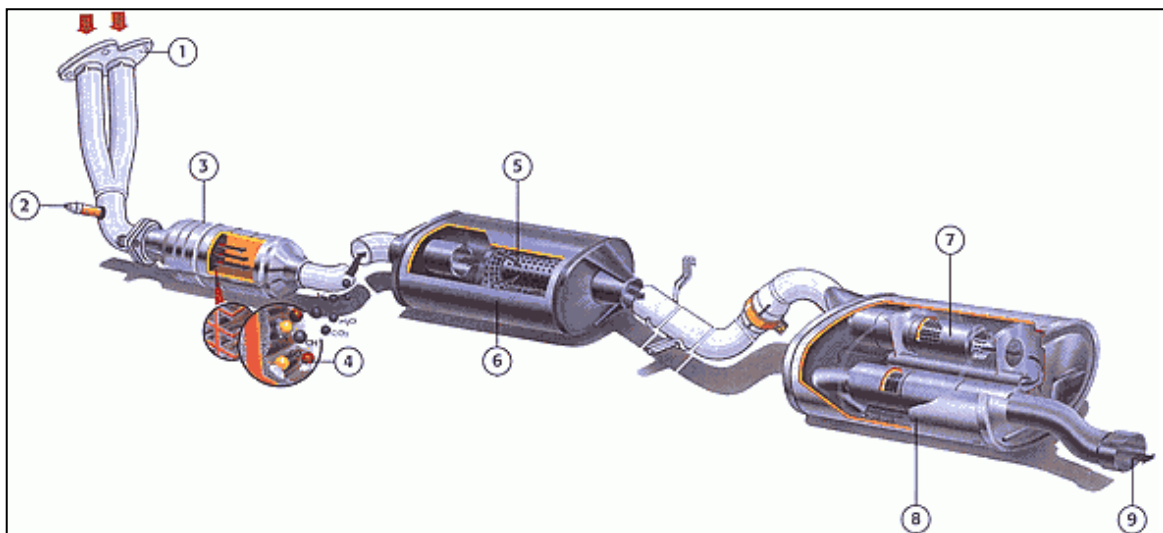
Základní části výfukového systému

Sběrné výfukové potrubí - většinou se vyrábí jako odlitek z litiny. Je společné pro všechny válce. Proces vyplachování válců je ovlivněn velikostí průměru a délky sběrného výfukového potrubí.

Lambda sonda - jedná se o snímač, který snímá součinitel přebytku vzduchu λ ve výfukových plynech. Lambda sonda měří obsah O_2 ve výfukových plynech a následně dle toho upravuje řídicí jednotka délku vstřiku paliva.

Výfukové potrubí - spojuje všechny části výfukového systému v požadovaném sledu. Koncové potrubí odvádí spaliny mimo vozidlo do ovzduší. Těsnost výfukového potrubí ovlivňuje plnění válce, výplach vlivem protitlaku, spotřebu paliva, teplotu motoru a výkon motoru.

Tlumič hluku - snižuje hluk výfukových plynů, který vzniká prouděním zplodin. Ve výfukovém systému můžeme najít jak přední, střední a také zadní tlumič hluku. Energie výfukových plynů je tlumena absorpcí nebo reflexí. Při absorpci je zachycen hluk do materiálu, který jej tlumí. Tento materiál je umístěn v komorách tlumiče. Jedná se o skelnou vata nebo vlákno. Typ tohoto tlumiče pracuje s vysokou účinností. Reflexe, jde o způsob, kdy se do cesty výfukovým plynům staví mechanické překážky. Tyto překážky snižují rychlost expanze výfukových plynů. Může být realizováno také zmenšením průřezu nebo komory tlumiče.



Obr. 4: Výfukový systém [20]

1 - příruba ke sběrnému potrubí, 2 - lambda sonda, 3 - třicestný katalyzátor, 4 - označení chemické činnosti katalyzátoru, 5 - expanzní komora (předního tlumiče), 6 - dvojitý plášť s izolační vrstvou, 7 - tlumicí prvky druhého (zadního tlumiče), 8 - dvojitý plášť s izolační vrstvou, 9 - vyústění výfuku [20]

Katalyzátor (katalytický konvertor)

„Katalyzátor odstraňuje škodlivé součásti zplodin hoření pomocí chemické reakce.“

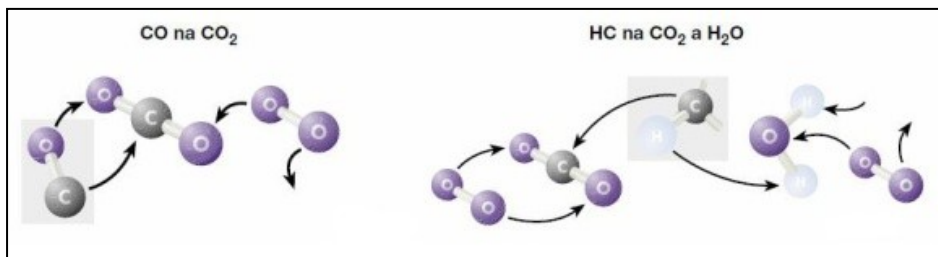
[7] Použitím katalyzátoru se snižují škodlivé komponenty ve výfukových plynech. Jedná se o uhlovodíky (HC), oxid uhelnatý (CO) a oxidy dusíku (NO_x). Katalyzátor začíná fungovat až po dosažení teploty cca 300°C. [7]

Složení katalyzátoru:

- Monolit (nosič) - těleso, které obsahuje velké množství kanálů. Těmito kanály prochází výfukové plyny. Monolit je vyroben z kovu či keramiky.
- Reaktivní vrstva - vyrobená z oxidu hlinitého. Monolit je touto vrstvou potažen. Zvyšuje účinnou plochu katalyzátoru.
- Katalyticky účinný materiál nanesený na reaktivní vrstvě. Složen ze vzácných kovů - platiny, paladia nebo rhodia.

Škodlivé látky se v katalyzátorech přeměňují buď oxidací, nebo redukcí. Podle způsobu, jakým se látky přeměňují, volíme vzácný kov, který je použit na katalyticky aktivní vrstvu.

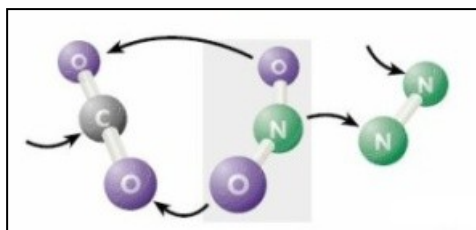
Oxidace - škodlivým komponentům CO a HC je přidáván O_2 .



Obr. 5: Oxidace [17]

Oxid uhelnatý se přeměňuje na oxid uhličitý. Nespálené uhlovodíky se oxidují na oxid uhličitý a vodní páru. Vodík se přeměňuje na páru. [17]

Redukce - škodlivým komponentům NO_x je odebrán O_2 .



Obr. 6: Redukce [17]

Oxid dusnatý se přeměňuje na dusík a oxid uhelnatý oxiduje na oxid uhličitý. Oxid dusnatý se přeměňuje na dusík a vodík na vodní páru. Oxid dusnatý redukuje na dusík, nespálené uhlovodíky na oxid uhličitý a vodní páru. [17]

Rozdělení katalyzátorů

Keramické katalyzátory mají keramickou vložku. Výhodou je jejich nižší pořizovací cena. Nevýhodou je jejich vyšší citlivost na poškození, jak mechanické (úder), tak i chemické (špatné seřízení motoru).

Kovové katalyzátory jsou odolnější než keramické (mechanické a chemické poškození). Mají kovovou vložku. Tyto katalyzátory jsou vhodné jak pro benzínové motory, tak i pro naftové motory.

Dvoucestný katalyzátor - snižuje komponenty nespálených uhlovodíků (HC) a také oxidu uhelnatého (CO). Správná funkce vyžaduje dostatek kyslíku ve spalinách.

Třícestný katalyzátor (trojčinný, tříložkový) výrazně snižuje podíl všech tří škodlivých složek (CO, HC, NO_x). V dnešní době spolupracuje ve výfukovém systému s lambda sondou. Tvoří nejúčinnější systém snižování škodlivin ve výfukových plynech.

Keramika tohoto katalyzátoru je potažena platinou a rhodiem, které při proudění výfukových plynů urychlují likvidaci škodlivých látek. Pokud výfukový systém obsahuje katalyzátor, (v dnešní době všechny vyráběné vozy), tankujeme do palivového systému jen bezolovnatý benzin. Olovo totiž znehodnocuje katalytický účinek vzácných kovů.

Třícestný katalyzátor nedokáže převádět NO_x v případě spalování chudé směsi. „Proto se používá tzv. zásobníkový katalyzátor NO_x, který má kromě vrstev z platiny, paladia a rhodia ještě speciální přísady, které mohou ukládat oxidy dusíku.“ [1] Navíc tedy obsahuje oxidy draslíku, stroncia, zirkonu, baria, lanthanu a vápníku. Poté zásobníkový katalyzátor NO_x při spalování směsi o $\lambda = 1$ pracuje jako třícestný katalyzátor. Dále redukuje NO_x, které se neredukují ve spalínách s $\lambda > 1$. Tato redukce probíhá ve třech fázích: ukládání NO_x, uvolnění NO_x, a redukce. [17]

2.1.8 Rozvody motorů

Hlavním účelem rozvodového mechanismu je řídit výměnu plynů ve válcích a také odvádět spaliny z válců. Rozvodový mechanismus výrazně ovlivňuje parametry výkonu motoru. Rychlost, zdvih a zrychlení se přenáší od vačkového hřídele na funkční části. Tyto části tvoří ventily a další části např.: zdvihátka, vahadla, pružiny. Rozvodový mechanismus ovládá vstup a výstup pracovních látek z válců. „Každý rozvodový mechanismus musí zaručovat maximální a co nejehospodárnější využití spalovacího prostoru motoru a zároveň musí mít tichý chod.“ [1]

Rozvody zajišťují otevírání, zavírání, nebo překrývání ventilů (střih ventilu). Při správném nastavení a seřízení rozvodového mechanismu se zajistí kvalitní příprava a obměna směsi, což vede k minimalizaci produkce škodlivin.

Druhy konstrukcí rozvodových mechanismů

- mechanické - ventilové, kanálové, s vázaným pohybem, šoupátkové
- hydraulické
- elektrické
- pneumatické

Časovací diagram popisuje, kdy a jak dlouho mají být sací a výfukové ventily otevřeny - uzavřeny, aby došlo k dostatečnému nasátí nové směsi a výplachu zplodin.

Druhy ventilových rozvodů

SV (side valve) - ventily jsou umístěny na jedné straně bloku motoru. Výhodou je nízká hmotnost a také jednoduchost.

OHC (over head camshaft) - nejpoužívanější konstrukce, umístění vačkového hřídele je nad hlavou válců. Ventily se nacházejí v hlavě válce motoru.

DOHC (double over head camshaft) - „dva vačkové hřídele uložené nahoře nad hlavou válce a ventily v hlavě válce.“ [1]

CIH (camshaft in head) - vačkový hřídel a ventily jsou umístěny v hlavě válce.

Rozvodový mechanismus **OHV (over head valve)** je použit u motoru Škoda Felicia, na kterém jsem prováděl měření, viz kapitola 3.1. Tento rozvodový mechanismus má jednoduchou konstrukci a umístění ventilů je shora v hlavě válců. Vačkový hřídel se nachází v bloku motoru. Další výhodou tohoto mechanismu je snadné vytvoření kvalitního spalovacího prostoru. Mezi nevýhody patří větší hmotnost díky vyššímu počtu součástí. Tím pádem je zvýšená hlučnost. Rozvodový mechanismus OHV se skládá z vačkového hřídele, který je poháněn od klikového hřídele přes rozvodový řetěz. Otáčením vačkového hřídele se pohybuje zdvihátko s ventilovou tyčkou. Pohyb je přenášen na vahadlo, které překonává sílu vratné pružiny a ovládá ventil. Působením vratných pružin se ventil pohybuje zpět a uzavírá sací - výfukový kanál. Vačkový hřídel se proti klikovému hřídeli otáčí dvakrát pomaleji.



Obr. 7: Rozvodový mechanismus OHV [21]

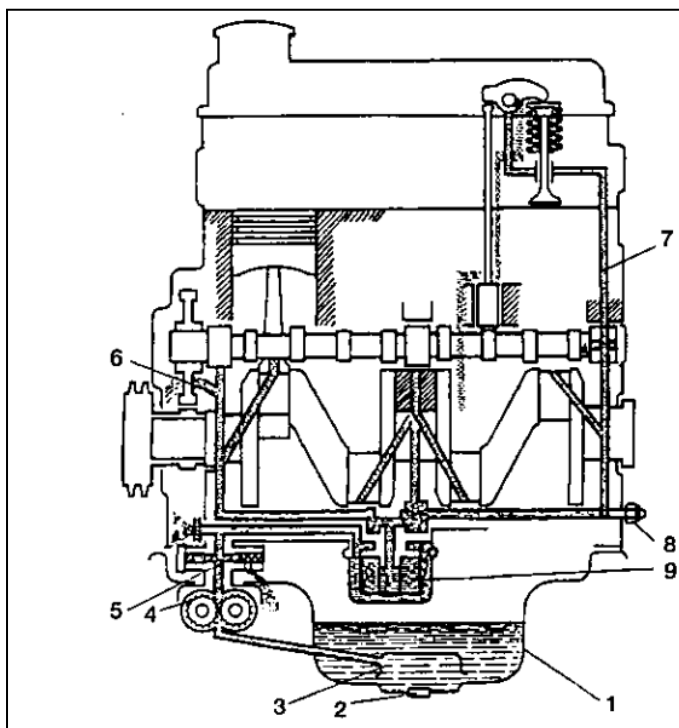
2.1.9 Mazání motoru

„Hlavní funkcí mazací soustavy je vytvořit tenký olejový film na třecích plochách tak, aby se relativní pohyb součástí uskutečnil jako kapalinné tření.“ [7] Díky tomu se snižuje opotřebení součástí a také se snižuje odpor proti pohybu součástí. Mezi další funkce patří odvádění tepla, ochlazování nejvíce namáhaných součástí motoru - pístů, hlavy, válců apod. Mazací soustava má dále za úkol vymezovat vůle, ochranu proti korozi, odvádění nečistot a také zvyšování těsnosti pístové skupiny v motoru. Účinnost mazání motoru významně ovlivňuje kvalita motorového oleje, který je předepsán výrobcem pro konkrétní podmínky. Kvalita oleje a používání v souladu s doporučením výrobce ovlivňuje hodnotu emisí ve výfukových plynech.

Druhy konstrukce mazání

- mastnou směsí - motorový olej smíchaný s palivem 1:33 - 40
- tlakové mazání - je dodáván olej pod tlakem od čerpadla
 - **mazání se suchou skříní** - u terénních vozů, traktory
 - **mazání s mokrou skříní** - nejpoužívanější konstrukční řešení

Tlaková mazací soustava se skládá z hrubého čističe, olejového zubového čerpadla, čističe oleje, pojistných ventilů, signálních a kontrolních přístrojů, chladiče oleje a zásobníku oleje - olejová vana.



Obr. 8: Mazací soustava motoru [22]

1 - spodní víko motoru, 2 - vypouštěcí zátka, 3 - sací koš, 4 - zubové olejové čerpadlo, 5 - redukční ventil, 6 - tryska pro mazání šroubových kol pohonu rozdělovače, 7 - tlakové olejové kanály, 8 - baroskop, 9 - čistič oleje [22]

Motorové mazací oleje

Motorové oleje jsou směsi uhlovodíků, které se vyrábí z ropy destilací. V motoru dochází k chemickému, tepelnému a mechanickému namáhání oleje. Základní vlastností motorových olejů je viskozita. Abychom dosáhli požadovaných vlastností přidávají se do oleje různá aditiva, které zlepšují jejich vlastnosti například antioxidanty, detergenty, disperzanty aj.

Hlavní nároky na motorový olej

- „olej musí dostatečně mazat součásti s rozlišným druhem tření, kluzné, valivé a polosuché“ [4]
- odvod tepla od namáhaných částí - písty, válce, hlava a další
- dotěsnění součástí, vymezení vůlí
- ochrana proti korozi
- snižování opotřebování součástí
- co nejdelší životnost, zabránění pění

„Motorový olej je bezesporu technologicky nejsložitější olejářský výrobek, jehož vlastnosti jsou dány řadou mnohdy protichůdných technických požadavků a parametrů.“ [4] Kvalita motorových olejů se posuzuje dle použití v provozu, typech zatížení, druzích motoru a také podle životnosti. Motorové oleje jsou klasifikovány do jednotlivých tříd podle **viskozity a výkonnostní kategorie oleje**.

Viskozitní klasifikace SAE J 300 SEP 84 je vypracována americkou společností automobilních inženýrů SAE (Society of Automotive Engineers), např.: SAE 15W-40.

První číslo SAE **15W**-40 poukazuje na vlastnosti oleje při nízkých teplotách. Čím je toto číslo nižší, tím je olej tekutější při nízkých teplotách. V dnešní době se upřednostňují oleje s co nejnižším číslem. Důvod je zřejmý - vyšší ochrana při startech studeného motoru.

Druhé číslo SAE 15W-**40** udává informace o viskozitě oleje při provozní teplotě. *„Čím je toto číslo vyšší, tím je olej při provozu automobilu hustší a tím klade odpor proti vzájemnému pohybu třecích ploch.“* [4]

Tab. 2 Viskozitní třídy motorových olejů podle SAE J300 (7/2001) [15]

viskozitní třída SAE	Vlastnosti za nízkých teplot				Vlastnosti za vysokých teplot		
	Dynamická viskozita (mPa.s) max. při °C		Čerpatelnost (mPa.s) max. při °C §		Kinematická viskozita při 100 °C min.(mm ² .s ⁻¹) max.(mm ² .s ⁻¹)		Vysoký stříh* min.(m m ² .s ⁻¹)
0W	6 200	-35	60 000	-40	3,8		
5W	6 600	-30	60 000	-35	3,8		
10W	7 000	-25	60 000	-30	4,1		
15W	7 000	-20	60 000	-25	5,6		
20W	9 500	-15	60 000	-20	5,6		
25W	13 000	-10	60 000	-15	9,3		
20					5,6	< 9,3	2,6
30					9,3	< 12,5	2,9
40a					12,5	< 16,3	2,9
40b					12,5	< 16,3	3,7
50					16,3	< 21,9	3,7
60					21,9	< 26,1	3,7

Zimní třídy: 0W, 5W, 10W, 15W, 20W, 25W

Letní třídy: 20, 30, 40, 50, 60 [4]

Výkonnostní klasifikace udává momentální a dlouhodobé vlastnosti motorového oleje při různé zátěži. Mezi hodnocené vlastnosti patří např.: ochrana proti korozi, otěru, tvorbě úsad za vysokých teplot, pění oleje, ochrana proti oxidaci, úspora paliva. Označení norem dle výkonnostních kategorií motorových olejů:

- klasifikace **API**
- klasifikace **CCMC**
- Klasifikace **ACEA**
- klasifikace **MIL-L**
- firemní normy výrobců motorů a vozidel (BMW, MB, MAN atd.)

V dnešní době pro určení výkonnosti oleje má rozhodující význam klasifikace API. Uvedu jen klasifikace pro zážehové motory.

Klasifikace API - např. SJ. První písmeno **S** udává, že se jedná o olej pro zážehové motory. Písmeno **J** udává výkonnost oleje (A, B, C, atd.). Čím vzdálenější písmeno v abecedě, tím kvalitnější olej. [4]

Tab. 3 API klasifikace soudobých olejů pro benzínové motory [16]

API třída	Stav	Povolení od	Popis oleje	Doporučení
SJ	Současná	1997	Vynikající odolnost proti oxidaci a tvorbě úsad, fosfor max. 0,1%	Pro benzínové motory vyráběné od roku 1997
SL	Současná	2001	-	-
SM	Současná	2004	Zvýšená oxidační stabilita, vyšší ochrana proti opotřebení a úsadám	-

Diagnostika motorových olejů

Analýza motorového oleje přináší důležité informace o kvalitě a životnosti motorového oleje, které mají vliv na kvalitu a množství výfukových emisí. Tato analýza se provádí v pravidelných intervalech při provozu motoru. Na naměřená data má vliv stav, stáří motoru a kvalita motorového oleje. Chemická degradace oleje má vliv na tvorbu emisí ve výfukových spalínách. Parametry posuzující degradaci jsou: viskozita, číslo kyselosti (TAN), číslo zásaditosti (TBN), karbonizační zbytek, saze, nerozpustné látky, oxidace, nitrace a antioxidační kapacita. [4]

Akreditované zkoušky

- Stanovení TBN (celkové alkality) potenciometricky - ČSN 65 6069 [4]
- Stanovení TAN (celkové kyselosti) potenciometricky - ČSN 65 6214 [4]
- Stanovení kinematické viskozity - ČSN ISO 3104 [4]
- Stanovení Conradsonova karbonizačního zbytku - ČSN 65 6210 [4]

2.2 Emise zážehového spalovacího motoru

2.2.1 Emise

Zážehové spalovací motory produkují škodlivé emise obsažené ve výfukových plynech. Požadavky na snižování koncentrací emisí ve výfukových plynech se neustále zpřísňují. Viz: emisní norma EURO.

Tab. 4 Povolené množství zplodin osobních vozidel v EU [14]

Rok	Norma	CO (g/km)	NO _x (g/km)	HC + NO _x (g/km)	HC (g/km)
1992	I	3,16	-	1,13	-
1996	II	2,20	-	0,50	-
2000	III	2,30	0,15	-	0,20
2005	IV	1,00	0,08	-	0,10
2009	V	1,00	0,06	-	0,10
2014	VI	1,00	0,06	-	0,10

Emisní norma EURO

Tato norma určuje přípustné hodnoty škodlivin ve výfukových plynech v zemích Evropské unie. Jedná se o hodnoty HC, NO_x, CO a částice. Tyto hodnoty se uvádí v miligramech na ujetý kilometr. Jako první norma začala platit v roce 1968 v Kalifornii. V Evropě začala první norma platit až v roce 1971. Jednalo se o normu EHK 15. V roce 1992 se poprvé objevila norma EURO, která postupně zpřísňuje limit obsahu škodlivin ve výfukových plynech. V současné době je v platnosti norma EURO V. EURO VI vejde v platnost od září 2014.

Složení výfukových plynů

Dusík - N₂

Největší obsah ve výfukových plynech zaujímá dusík. Plyn, který není hořlavý a není jedovatý. Je bez barvy a zápachu. Větší část N₂ se po ukončení spalování vrací zpět do ovzduší. Jen malá část oxiduje s kyslíkem a vznikají oxidy dusíku NO_x.

Kyslík - O₂

Jde o plyn, který je bez barvy, zápachu a chuti. Není jedovatý. Nejdůležitější složka atmosféry. Kyslík je nasáván do motoru. Nezbytný pro spalování. *„Jeho hodnota je důležitá při měření emisí čtyř složkovým analyzátozem. Používá se pro výpočet lambda, která se kontroluje při měření funkce katalyzátoru a lambda sondy.“* [7]

Voda - H₂O

Je nasávána společně se vzduchem jako vodní pára.

Oxid uhličitý - CO₂

Tento produkt není jedovatý. Podílí se na vzniku skleníkové efektu. Maximální hodnota ve výfukových plynech je cca 14,7% při dokonalém spalování. Spalování je dokonalejší pokud se hodnota přibližuje 14,7%. CO₂ je také s HC a CO jednou z hodnot, pomocí kterých můžeme posoudit správnou funkci katalyzátoru. Pokud je hodnota CO₂ v % nízká a stejně jsou na tom i HC a CO znamená to, že je výfukové potrubí po celé své délce netěsné.

Oxid uhelnatý - CO

CO je bezbarvý, jedovatý a výbušný plyn. Oxid uhelnatý vzniká v důsledku nedokonalého spalování, bohaté směsi a také nesprávného seřízení zapalování, při volnoběhu a akceleraci. V důsledku špatného míšení paliva se vzduchem. Pro přeměnu oxidu uhelnatého na méně škodlivý oxid uhličitý je zapotřebí určité množství kyslíku.

Oxidy dusíku - NO_x

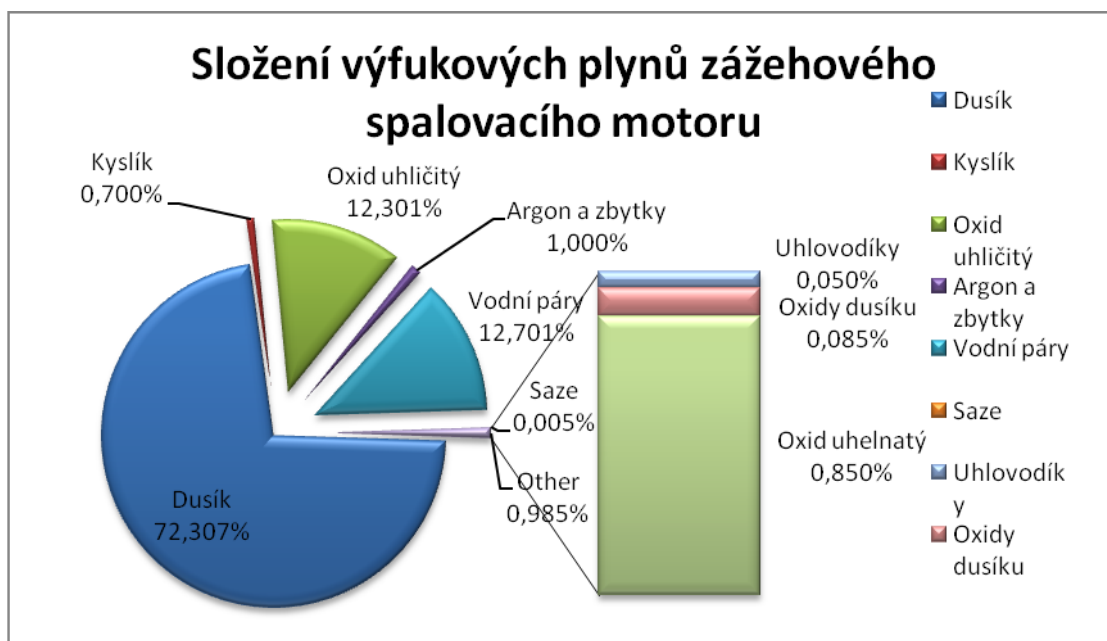
Jsou to sloučeniny dusíku s kyslíkem např.: NO, N₂O. Tyto látky se tvoří za vysokých teplot a tlaků, při spalování chudé směsi. Některé oxidy dusíku jsou zdraví škodlivé, napadají plíce a sliznice.

Uhlovodíky - HC

Ve výfukových plynech se nacházejí různé druhy uhlovodíků, u kterých nedošlo ke spálení. Jsou to nasycené uhlovodíky (parafíny), nenasycené uhlovodíky (olefiny, acetylén), které se podílejí na tvorbě smogu. Aromatické uhlovodíky mají rakovinotvorné účinky a jejich charakteristickým znakem je zápach. Pokud má λ klesající hodnotu jejich hodnota stoupá. Minimálních hodnot HC naměříme pokud λ bude odpovídat rozmezí 1,1 až 1,2. Podíl uhlovodíků roste, pokud motor je ve špatném technickém stavu. Jeho mechanické součásti jsou poškozené. Dále také pokud je motor špatně seřízen nebo je vynecháváno spalování.

Oxid siřičitý - SO₂

Palivo obsahuje také síru. Síra oxiduje s kyslíkem na oxid siřičitý. Jedná se o produkt, který je vysoce škodlivý k životnímu prostředí a také má negativní vliv na výfukové potrubí. Způsobuje korozi.



Obr. 9: Složení výfukových plynů zážehového spalovacího motoru [autor]

2.2.2 Zařízení na měření emisí

Emise ve výfukových plynech zážehových spalovacích motorů se měří pomocí 4 složkového infraanalyzátoru. Ve výfukových plynech se měří obsah oxidu uhelnatého (CO), uhlovodíků (HC), oxidu uhličitého (CO₂), kyslíku (O₂), dále se měří teplota oleje a otáčky motoru. Z naměřených hodnot se vypočítává součinitel přebytku vzduchu λ .

Přístroje a zařízení používané k měření emisí

SME pro vozidla poháněná zážehovými motory musí být vybavena těmito přístroji a zařízeními:

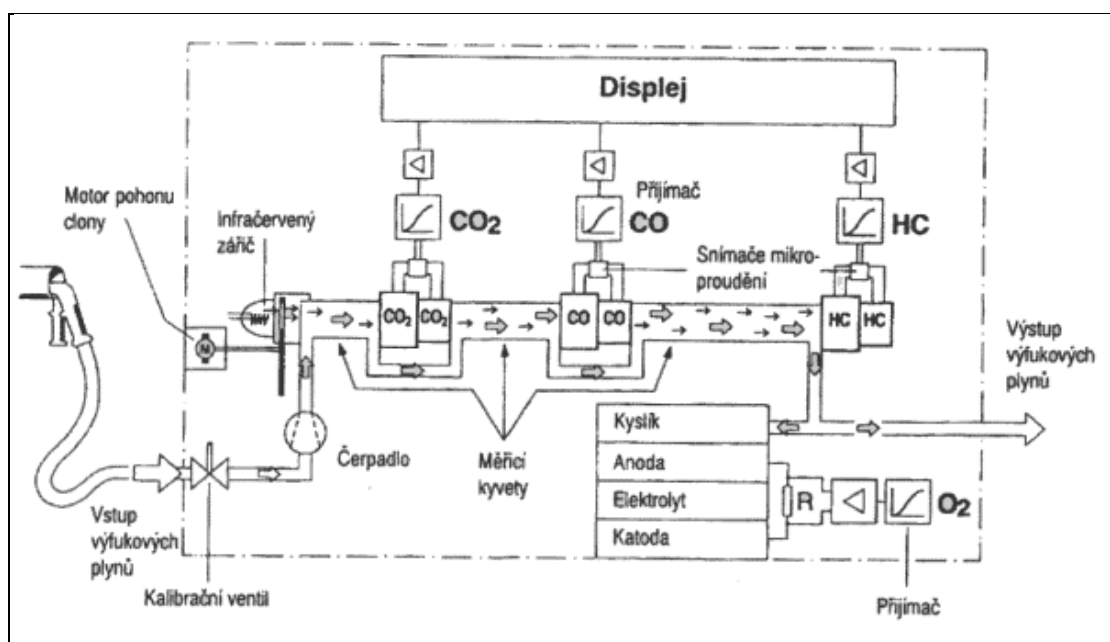
- a) přístroj na měření otáček motoru
- b) přístroj na měření teploty motoru
- c) přístroj na měření úhlu sepnutí kontaktů přerušovače
- d) přístroj na měření předstihu zážehu
- e) přístroj na měření emisí ve výfukových plynech zážehového spalovacího motorů schváleného typu
- f) přístrojem pro kontrolu funkce řídicích jednotek emisního systému a komunikaci s nimi (tester řídicích systémů motoru) [13]

Čtyřsložkový infraanalyzátor výfukových plynů

Infraanalyzátor využívá k měření infračerveného záření. Měřené výfukové plyny se nasávají z výfuku vozidla výfukovou sondou pomocí membránového čerpadla. Plyny vedou z výfukového systému vozidla přes hrubý filtr a kondenzační filtr. Tyto filtry slouží k ochraně měřících komor před pevnými částicemi, které jsou obsaženy ve výfukových plynech a také zabraňují pronikání vody. Tlakový spínač slouží ke kontrole dostatečného množství nasátého vzduchu. Přístroj je plně automatický. Po spuštění probíhá testování a zahřívací cyklus (cca 3min). Posléze je připraven přístroj k měření. Měření se spouští spínačem čerpadla.

Složení čtyřsložkového analyzátoru

- cesta plynu včetně snímačů
- elektrické obvody ke zpracování naměřených hodnot, výpočtu lambdy a zobrazení
- tiskárna naměřených hodnot
- sériové rozhraní pro motortester
- snímač otáček, snímač teploty



Obr. 10: Schéma čtyřsložkového infraanalyzátoru výfukových plynů [24]

2.2.3 Popis měření emisí dle zákona č. 302/2001 Sb. § 1

Rozsah a způsob měření emisí

„(1) U vozidla se zážehovým motorem s neřízeným emisním systémem nebo s neřízeným emisním systémem s katalyzátorem se při měření emisí provádí

a) vizuální kontrola skupin a dílů ovlivňujících tvorbu emisí ve výfukových plynech zaměřená na úplnost a těsnost palivové, zapalovací, sací a výfukové soustavy a těsnost motoru; ventilový rozvod a jeho stav se kontroluje bez demontáže, v rozsahu umožněném jeho konstrukcí; plnicí hrdlo palivové nádrže se kontroluje, jen pokud je požadována jeho zvláštní úprava; kontrola ostatních zařízení určených ke snižování emisí škodlivin (odvětrání motoru, recirkulace výfukových plynů apod.) se provádí v rozsahu stanoveném výrobcem vozidla.

(2) U vozidla se zážehovým motorem s řízeným emisním systémem s katalyzátorem se při měření emisí provádí

a) vizuální kontrola v rozsahu jako u vozidla s neřízeným emisním systémem, rozšířená o kontrolu stavu katalyzátoru, stavu sondy lambda, přídavných nebo doplňkových systémů ke snižování emisí a příslušné elektroinstalace,

b) kontrola funkce řídicího systému motoru, čtení paměti závad pomocí diagnostického zařízení v rozsahu a způsobem předepsaným výrobcem vozidla,

c) u motoru zahřátého na provozní teplotu změření otáček volnoběhu a obsahu CO ve volnoběhu a obsahu CO a součinitele přebytku vzduchu lambda při zvýšených otáčkách v rozmezí 2500 až 2800 min⁻¹, pokud výrobce vozidla nestanoví jinak,

d) porovnání výsledků kontroly a naměřených hodnot se stavem a hodnotami stanovenými výrobcem vozidla; pokud výrobce tyto hodnoty nestanoví, nesmí být překročeny přípustné hodnoty stanovené přílohou č. 1.“¹

¹ Zákon č. 302/2001 Sb., o technických prohlídkách a měření emisí vozidel. In: Sbírká zákonů. 7. 8. 2001. ISSN 0526-5444.

2.3 Komprese zážehového spalovacího motoru

2.3.1 Komprese

Komprese - kompresní tlak p_k [MPa] je tlak ve válci, který je vyvolán kompresním zdvihem, Maximální hodnota kompresního tlaku je cca 1,8 MPa. Měřením kompresního tlaku ve spalovacím prostoru motoru se zjišťuje technický stav motoru a těsnost, které mají přímý vliv na hodnotu emisí ve výfukových plynech. [2]

2.3.2 Zařízení na měření komprese

Na měření těsností válců motoru se používají diagnostická zařízení, která nazýváme kompresiometry. Zjištěním hodnot tlaku pomocí kompresiometru můžeme zhodnotit technický stav těsnosti válce. „Na kompresiometru nasazeném po demontované zapalovací svíčce se zaznamenává skutečný tlak ve válci motoru, jeho nejvyšší dosažená hodnota při maximálně otevřené škrtkové klapce.“ [3] Zážehový spalovací motor pracuje v tlakovém rozsahu 0,4 - 1,6 MPa. Při vlastním měření je motor poháněn jen spouštěčem. U zážehového motoru musí být otevřená škrtková klapka.

Rozdíly naměřených hodnot jednotlivých válců nesmí při porovnání s tabulkovými hodnotami přesahovat více jak o 10%. Nižší hodnoty můžeme naměřit v důsledku mechanických závad, jako jsou poškozené pístní kroužky, písty, ventily či těsnění. [3]

2.3.3 Popis měření kompresního tlaku

1. kontrola dostatečné kapacity akumulátoru
2. motor zahřátý na provozní teplotu
3. vyšroubování všech startovacích svíček, zajištění vysokonapěťových koncovek proti přeskokování jisker
4. našroubování koncovky přívodu kompresiometru do otvoru startovací svíčky prvního válce
5. odpojení relé palivového čerpadla - zamezení přívodu paliva
6. sešlápnutý akcelerační pedál (úplné otevření škrtkové klapky) - pomocníkem
7. startování - spouštěč je protočen po dobu cca 5 sekund (dostačující počet otáček cca 8) - pomocníkem
8. na registrační kartičce se zaznamenává tlak, který je ve válci
9. měření opakujeme pro každý válec

Vyhodnocení měření

Porovnáváme naměřené hodnoty s hodnotami uvedenými výrobcem. Pokud mají naměřené veličiny nižší hodnotu o více, jak 30%, jedná se o dosti velké opotřebení či závadu. Spalovací prostor ztratil svou těsnost. Rozdíly naměřených tlaků jednotlivých válců nesmí být větší jak 10% (cca 0,1 MPa). „*Má -li být např. min. kompresní tlak 1,1 MPa (11 bar) a my naměříme na všech válcích např. 0,9 MPa (9bar), není to nic jiného než běžné a stejnoměrné opotřebení.*“ [3] Pokud však rozdíly jsou daleko větší jedná se o závadu. [3]

2.4 Údržba

Všeobecně údržbou rozumíme souhrn činností, které přispívají k provozu schopnému stavu přístrojů, zařízení nebo technických systémů. Pokud dojde k poruše je úkolem údržby provoz co nejdříve obnovit. Údržbu provádíme, abychom předešli poruše a výpadku zařízení. Priority údržby jsou: prodloužení a využití maximální délky životnosti zařízení, zajištění bezpečnosti provozu zařízení, snížení počtu poruch a plánování výdajů na provoz zařízení.

U motorových vozidel se údržba respektive pravidelný servis řídí výrobcem. Výrobce udává pravidelné kontroly a servisní intervaly v servisní knížce vozidla. Lhůty jsou udávány buď časem nebo počtem ujetých kilometrů. Servis musí být proveden podle toho, která událost nastane dříve. Majitel vozidla by měl postupovat dle pokynů v servisní knížce a servis by měl být realizován v autorizovaných servisech.

3 PRAKTICKÁ ČÁST

3.1 Popis vozidla

Nevlastním osobní automobil a proto jsem využil kontakty a nabídku SOŠ a SOU automobilní Kyjov provádět praktická měření na jejich zařízení. Jsem absolventem SOŠ automobilní Kyjov. Praktickou část práce jsem prováděl na automobilu Škoda Felicia 1.3 MPi s výkonem motoru 50kW. Vozidlo bylo uvedeno do provozu v roce 2000. Jde o faceliftový model. Zpočátku bylo vozidlo provozováno jako výcvikové vozidlo autoškoly. Od roku 2009 až dosud jako výukové vozidlo pro SOŠ a SOU automobilní Kyjov. To znamená, že nejezdilo po pozemních komunikacích. Bylo vyřazeno z evidence motorových vozidel a nemělo platné STK a SME. Vozidlo mělo pravidelně měněno provozní kapalinu. V provozu se dodržovaly pravidelné servisní intervaly, dle ujetých kilometrů v autoškole. V současné době se vozidlo servisuje v časových intervalech. Použití tohoto vozidla mi umožnilo minimalizovat náklady. Musel jsem uhradit pouze

materiálové náklady a práci ve výši 1110 Kč. Na druhou stranu bylo zapůjčení tohoto vozidla časově omezené a neumožnilo mi provést více než jedno měření. Toto považuji za nedostatek mé práce. Uskutečněním více měření bych mohl naměřená data statisticky zpracovat a získané výsledky by měly větší vypovídající schopnost.

Tab. 5 Technické údaje automobilu Škoda Felicia 1.3 MPi 50 kW [19], [autor]

Škoda Felicia 1.3 MPi 50 kW		
Typ motoru	136M, čtyřdobý, kapalinou chlazený, řadový čtyřválec, rozvod OHV, 3 - cestný katalyzátor, bez rozdělovače	
Příprava směsi	vícebodové vstřikování Siemens Simos 2P	
Objem motoru	1289 cm ³	
Vrtání	75,5 mm	
Zdvih	72 mm	
Výkon	50 kW při (5000 ot. /min)	
Kompresní poměr	10:1	
Max. točivý moment	106 Nm (při 2600 ot. /min)	
Max. rychlost	162 km/h	
Zrychlení z 0 na 100 km/h	13,5 s	
Spotřeba		
při 90 km/h	5,0 l	
při 120 km/h	7,2 l	
město	8,1 l	
Měřené vozidlo		
Uvedeno do provozu	Říjen 2000	
Stav tachometru 30.6.2009	185 236 km	
t _p [mth] k 3.12.2012	486 mth	
t _p [mth] k 7.2.2013	518 mth	
Údržba a seřízení	Rok	t _p [mth]
Výměna - olej a olejový filtr	2010	189
Seřízení - ventilová vůle	2012	402
Výměna - vzduchový filtr	180 120 km	

3.2 Údržba

Po prvním měření emisí a kompresních tlaků jsem provedl seřízení a údržbu v rozsahu výměny nového vzduchového filtru, výměny motorového oleje a olejové filtru a seřízení ventilové vůle u rozvodového mechanismu dle příručky [8]. Údržba byla provedena při teplotě okolí 20°C.

Specifikace nových dílů a náplně

Vzduchový filtr **MANN** - obdélníkový. Vložka filtru - rozměry: délka = 276 mm, šířka = 185 mm, výška = 58 mm

Motorový olej - **Total Quartz 7000 10W - 40** (5 l), API SL/CF, SAE 10W - 40. Olej na syntetické bázi velice vysoké výkonnosti vhodný pro všechny motory (turbo, víceventilové), benzinové nebo dieselové.

Olejový filtr - **Mann Filter W 712/43** Rozměry: výška 79 mm, vnější průměr 76 mm, vnitřní průměr (1) 62 mm, vnitřní průměr (2) 71 mm, závit 3/4-16 UNF. Otvírací tlak 1 bar.

3.3 Měření emisí

3.3.1 Vybavení stanice měření emisí

Měření jsem uskutečnil ve stanici měření emisí v SOŠ a SOU automobilní Kyjov. Stanice měření emisí je vybavena zařízeními na měření emisí v souladu s předpisem č. 302/2001 Sb. - Vyhláška Ministerstva dopravy a spojů o technických prohlídkách a měření emisí vozidel. Vybavení je následující: Bosch KTS 540 - diagnostický tester, Bosch FSA 740 - zařízení pro diagnostiku elektronických systémů vozidla a Bosch BEA 050 - zařízení pro měření výfukových plynů benzinových motorů. Odsávač výfukových plynů. Všechny diagnostické zařízení jsou pravidelně kalibrovány a kontrolovány.

Bosch KTS 540

Tento diagnostický tester slouží ke kontrole, diagnostice, vyhledávání a odstranění závad, jak u elektronických systémů zážehových motorů, tak i vznětových. Mezi hlavní funkce patří čtení a mazání v paměti závad, měření různých veličin, test akčních členů a nastavení servisních intervalů. Komunikace probíhá v normě EOBD.

Bosch FSA 740

Jedná se o kompletní zařízení pro diagnostiku elektronických systémů vozidla. Tester FSA 740 obsahuje počítač, tiskárnu, myš, klávesnici, dálkové ovládání.

Bosch BEA 050

Zařízení BEA 050 slouží pro měření výfukových plynů benzinových motorů. Zařízení měří prvky plynů: CO, HC, CO₂, O₂.

Tab. 6 Technické parametry - Bosch BEA 050 [18]

Index	Rozsah měření	Chyba
CO	0-10%	0,001%
HC	0-9999 ppm	1 ppm
CO ₂	0-18%	0,01%
O ₂	0-22%	0,01%
NO	0-5000 ppm	1 ppm
λ	0,5-2 (0,5-1,8)	0,001
Warm - up čas	3 min	
Průtok plynu	6,2 l / min	

3.3.2 Postup měření emisí

Měření jsem provedl pomocí již zmíněného zařízení na měření emisí. Diagnostický tester Bosch KTS 540 jsem zapojil do diagnostické zásuvky umístěné pod palubní deskou na místě spolujezdce. Tento tester přes bluetooth komunikuje se zařízením Bosch FSA 740. Zadal jsem požadované vozidlo a typ motoru. Vyčetl jsem paměť závad řídicí jednotky motoru. Nebyly nalezeny žádné závady, které by neumožnily měření emisí. Dále nastavuji údaje o vozidle, které se posléze objeví v protokolu o měření emisí např.: počet ujetých km, typ motoru, výrobní číslo motoru nebo také údaje o majiteli. Následně systém zobrazí předepsané hodnoty pro teplotu oleje, volnoběžné otáčky a max. obsah CO, zvýšené otáčky a max. obsah CO. Rozmezí pro součinitel přebytku vzduchu λ. Poté kontrolovat systémy, které mají vliv na tvorbu emisí (palivová soustava, zapalování, čistý vzduchový filtr, neporušenost plomb). Vizuální kontrola je v pořádku, paměť závad (bez chyb). Připojil jsem odsávání a nastartoval jsem motor, aby se motor zahřál. Umístil jsem čidlo teploty oleje motoru (místo měřky oleje). Snímač otáček jsem připojil na svorky akumulátoru. Pomocí plynového pedálu jsem krátkodobě zvýšil otáčky pro správnou funkci snímače. Sonda byla umístěna do výfuku.

Měření emisí při zvýšených otáčkách jsem udržoval pomocí plynového pedálu po dobu 30 s v předepsaném rozhraní otáček. Byly naměřeny hodnoty CO a λ. Poté jsem měřil obsah CO a λ ve volnoběžných otáčkách po dobu 15 s. Bylo provedeno vytištění protokolu. Viz příloha 1, 2.

Měření bylo uskutečněno při teplotě okolí 20°C.

3.4 Měření komprese

3.4.1 Zařízení na měření komprese

Kompresimetr KB 1126 jde o registrační kompresimetr, kterým se měří tlaky zážehových motorů. Kompresimetr se připojuje místo zapalovací svíčky. Velikost závitů je M14x1,25 až M18x1,5. Měřicí rozsah je 0,4 - 1,6 MPa. Měření je s přesností 2%. Sada se skládá z:

- kompresimetru a registrační karty
- koncovky s gumovým kuželem
- ohýbný, krátký a dlouhý nástavec
- startovací tlačítko - možno ovládat dálkově (obsluha jedním mechanikem)
- na jednu registrační kartu lze zaznamenat až 8 měření

3.4.2 Měření komprese zážehového spalovacího motoru

Měření jsem provedl v servise SOŠ a SOU automobilní Kyjov. Kompresní tlaky jsem měřil pomocí kompresimetru KB 1126.

Před samotným měřením jsem provedl kontrolu kapacity akumulátoru. Následně jsem nastartoval motor, aby došlo k jeho zahřátí na provozní teplotu. Po zahřátí motoru jsem vyšrouboval všechny startovací svíčky a zajistil vysokonapěťové koncovky kabelů proti přeskokování jisker. Odpojíl jsem relé palivového čerpadla, aby nedocházelo k přívodu paliva. Následovalo našroubování koncovky kompresimetru do otvoru místo zapalovací svíčky prvního válce. Pomocník sešlápl akcelerační pedál (plně otevřená škrticí klapka). Dále startoval - pomocník pootočil spouštěčem cca po dobu 5 sekund. Při tom se na registrační kartu kompresimetru zaznamenával naměřený kompresní tlak daného válce motoru. Toto měření jsem provedl pro každý válec. Registrační karta je uvedena v příloze 3, 4. Měření bylo uskutečněno při teplotě okolí 20°C.

3.5 Výsledky

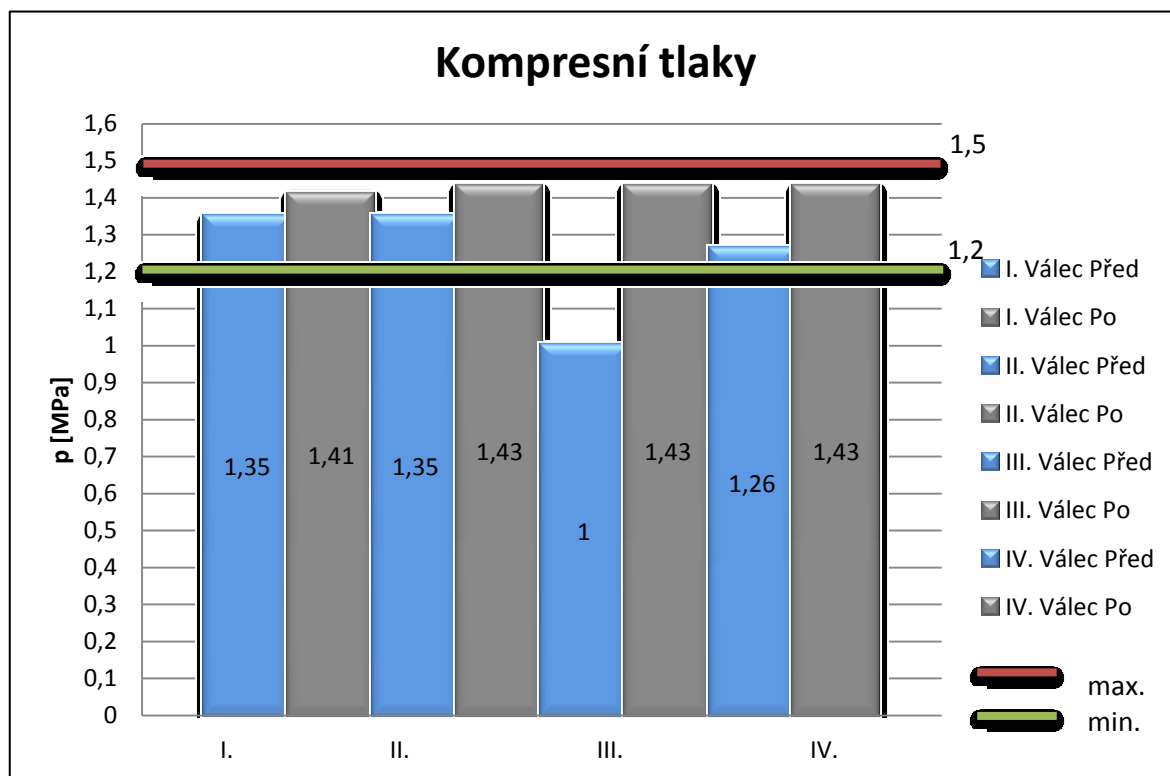
Naměřené hodnoty ventilových vůlí, kompresních tlaků a emisí před údržbou (Před) a po údržbě (Po) byly zaznamenány do tabulek a zpracovány v grafech.

Tab. 7 Hodnoty ventilových vůlí

Válec	Sací ventil Před [mm]	Sací ventil Po [mm]	Výfukový ventil Před [mm]	Výfukový ventil Po [mm]
I.	0,20	0,20	0,15	0,25
II.	0,20	0,20	0,15	0,25
III.	0,10	0,20	0,05	0,25
IV.	0,20	0,20	0,15	0,25

Tab. 8 Měření kompresních tlaků

Válec	Předepsané hodnoty [8]		Před	Po
	min. [MPa]	max. [MPa]	[MPa]	[MPa]
I.	1,20	1,50	1,35	1,41
II.	1,20	1,50	1,35	1,43
III.	1,20	1,50	1,00	1,43
IV.	1,20	1,50	1,26	1,43

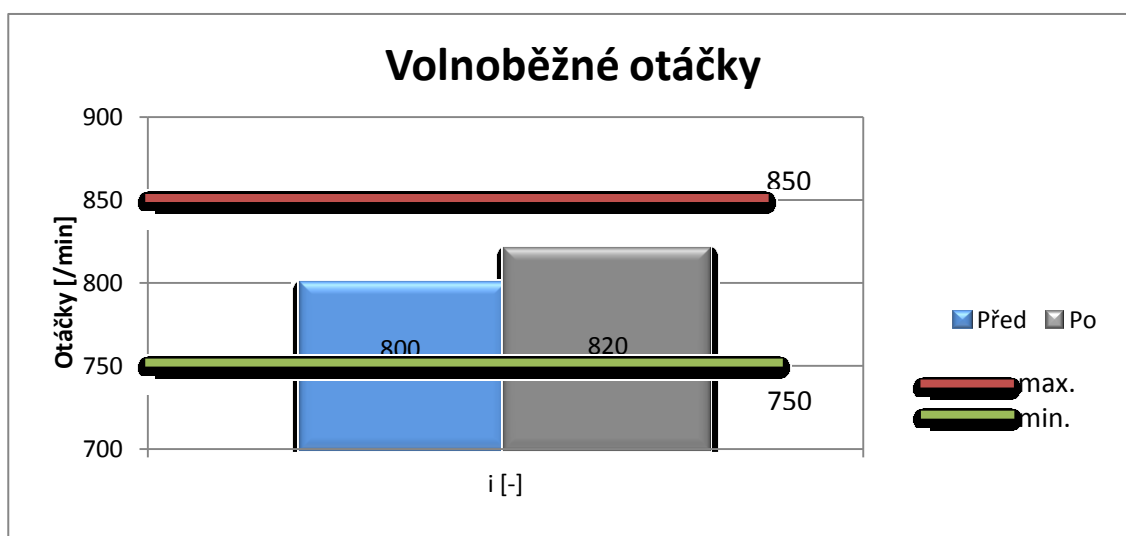


Obr. 11: Naměřené kompresní tlaky

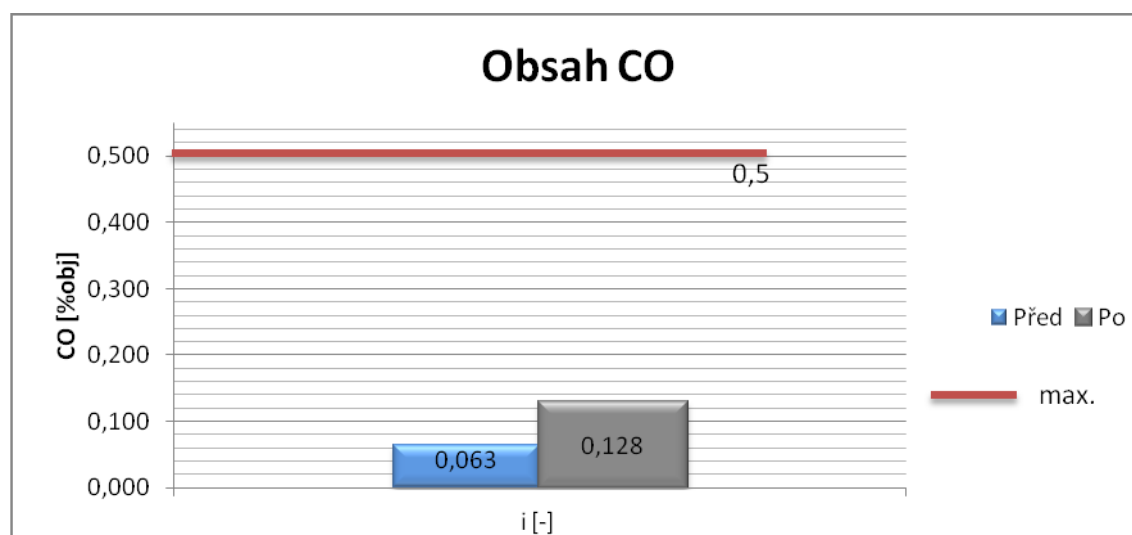
Tab. 9 Měření emisí

	Předepsané hodnoty				Naměřené hodnoty	
Měřené parametry	Vyhláška č. 302/2001 Sb.		BOSCH Databanka ESI[tronic]		Před	Po
	min.	max.	min.	max.		
Teplota oleje [°C]	80		80		86,1	105,2
Volnoběžné otáčky						
Otáčky [/min]	750	850	760	820	800	820
Obsah CO [%obj]		0,5		0,5	0,063	0,128
Obsah HC [ppm]				100	112	59
Obsah CO ₂ [%obj]			14,50	16,00	13,90	14,60
Obsah O ₂ [%obj]			0,10	0,50	1,48	0,32
Lambda [-]					1,066	1,008
Zvýšené otáčky						
Otáčky [/min]	2800	3200	2500	2800	2990	2960
Obsah CO [%obj]		0,3		0,3	0,436	0,190
Obsah HC [ppm]					161	42
Obsah CO ₂ [%obj]					14,29	14,91
Obsah O ₂ [%obj]					0,55	0,02
Lambda [-]	0,970	1,030	0,970	1,030	1,004	0,993

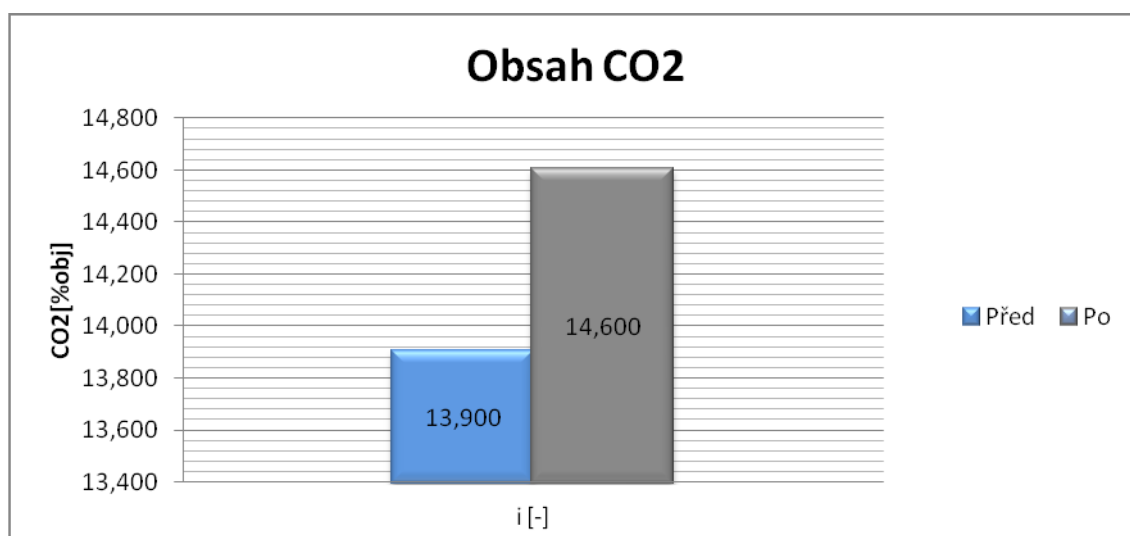
Naměřené hodnoty při volnoběžných otáčkách



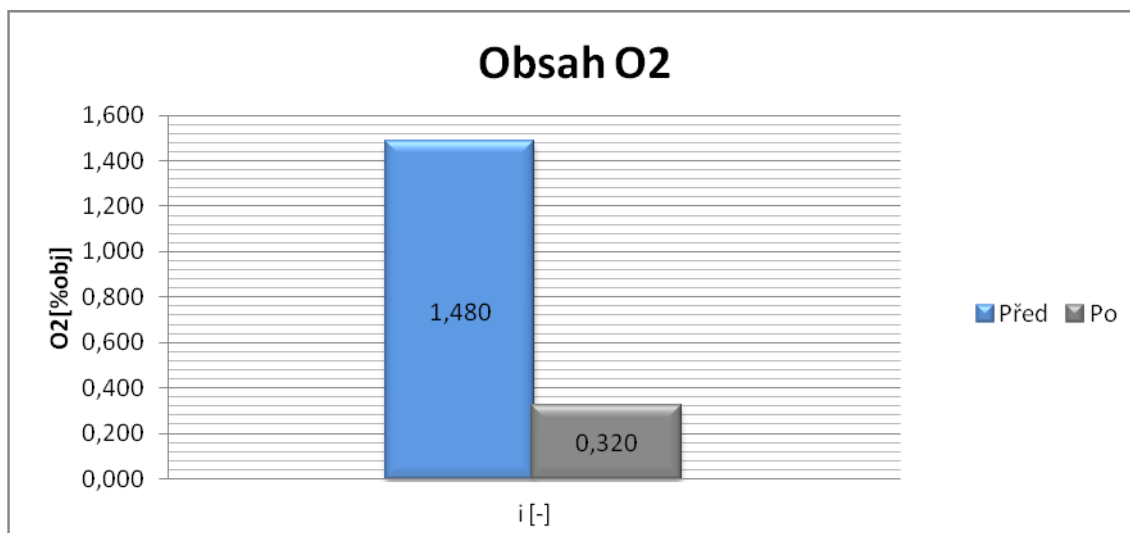
Obr. 12: Naměřené volnoběžné otáčky



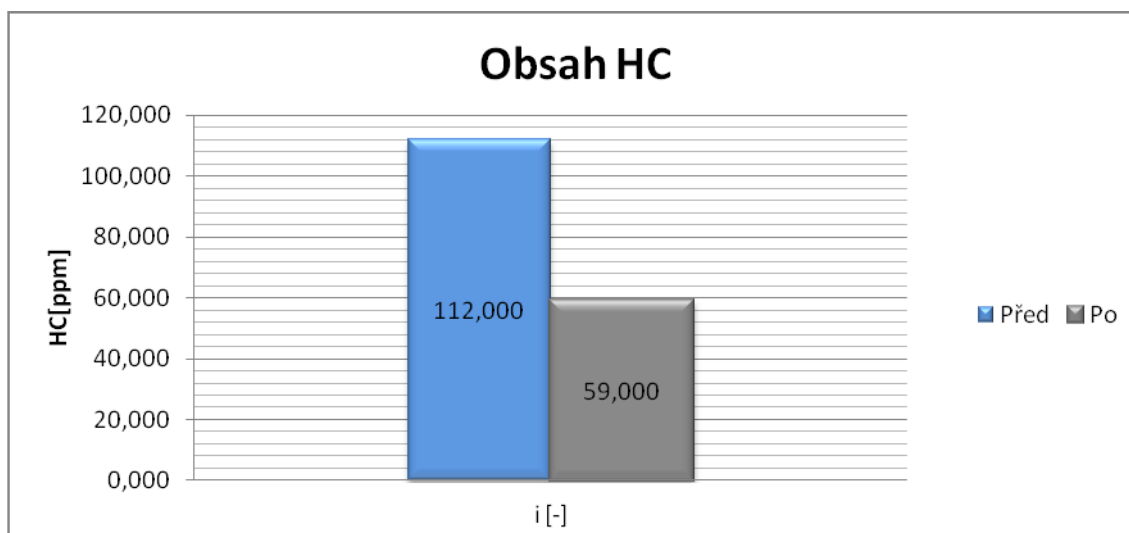
Obr. 13: Naměřený obsah CO



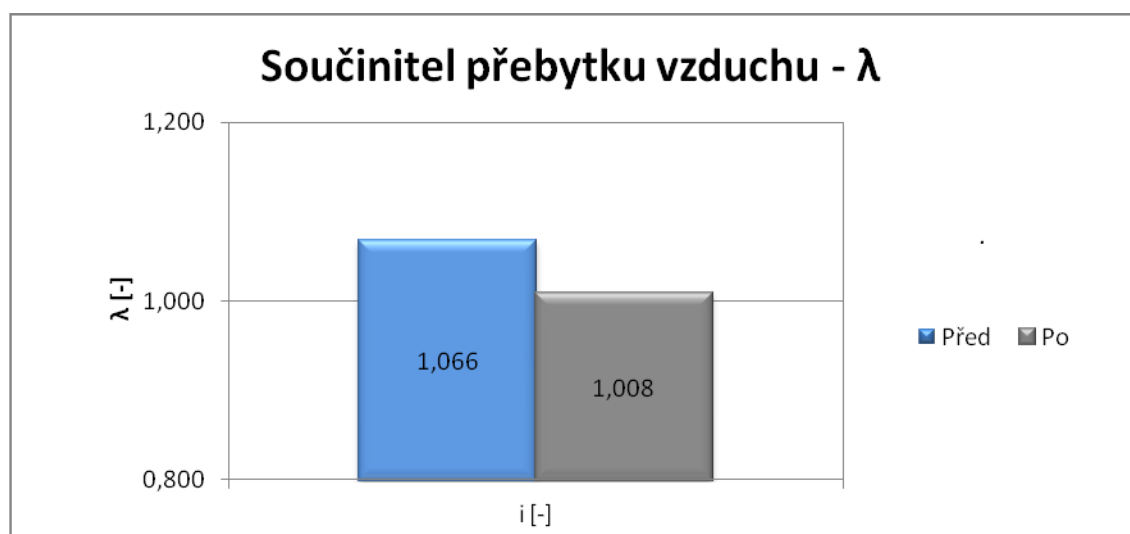
Obr. 14: Naměřený obsah CO₂



Obr. 15: Naměřený obsah O₂

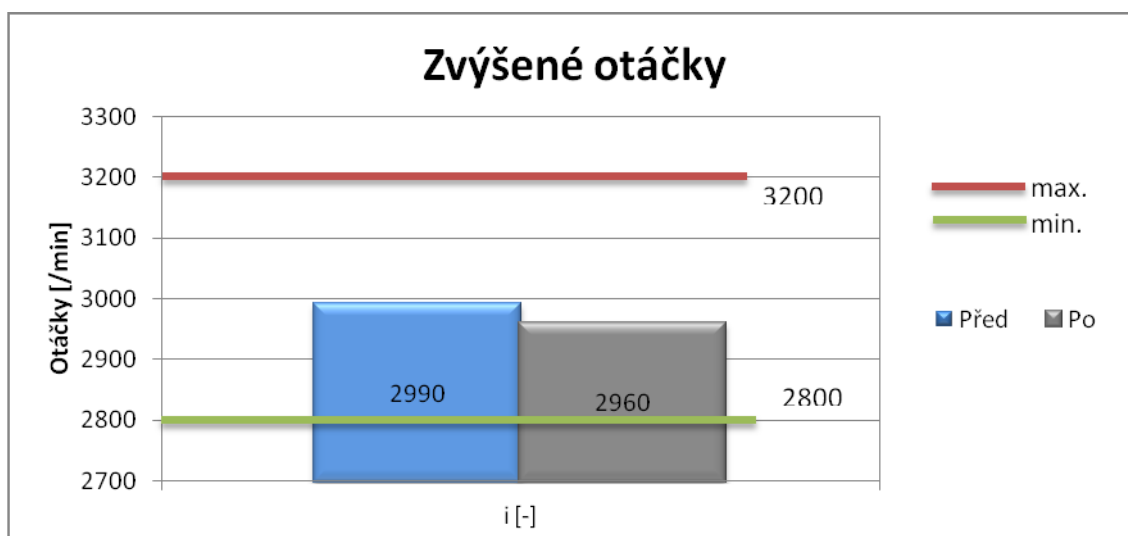


Obr. 16: Naměřený obsah HC

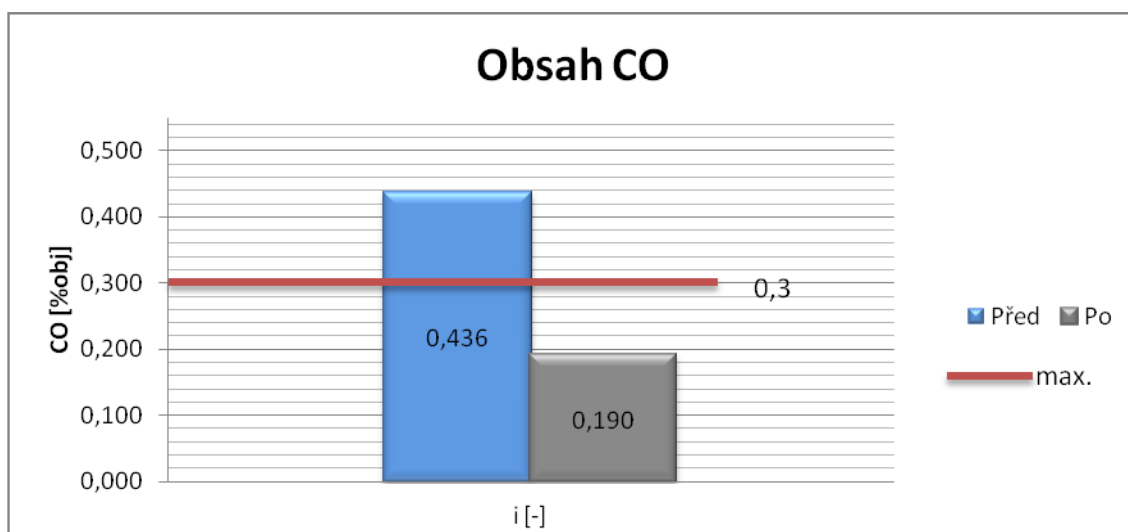


Obr. 17: Naměřená λ

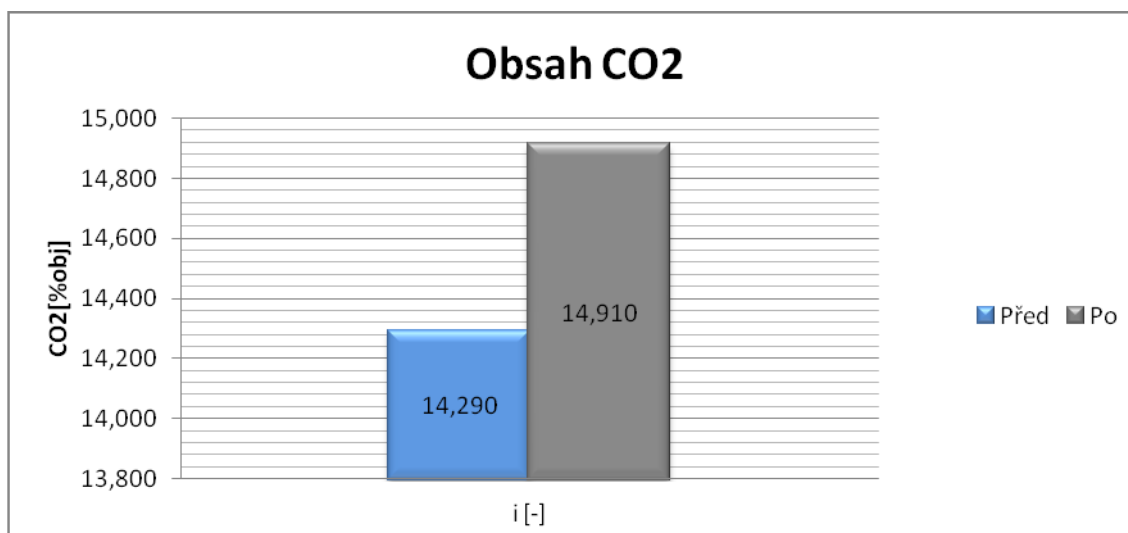
Naměřené hodnoty při zvýšených otáčkách



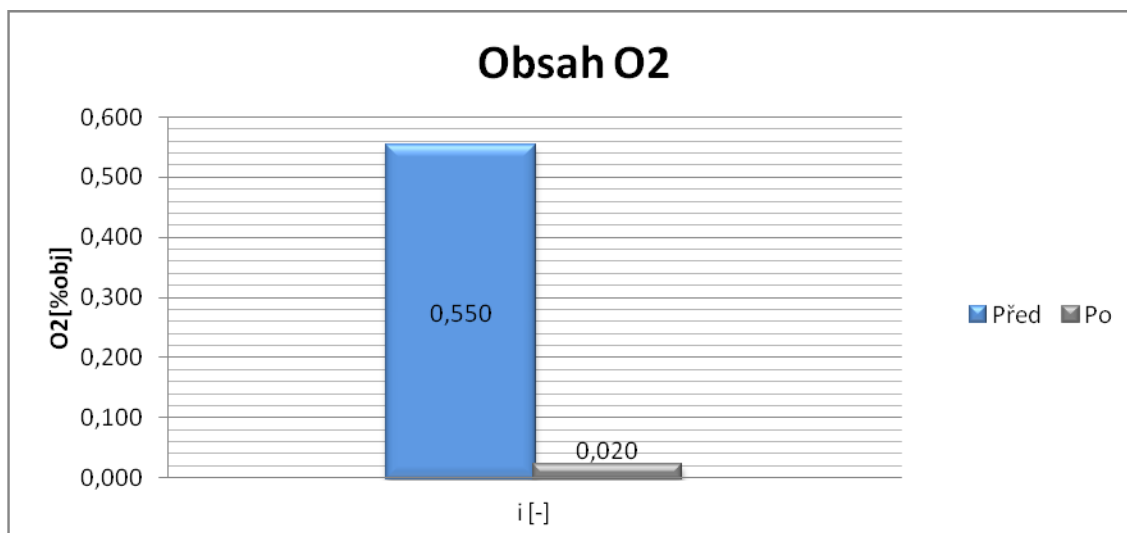
Obr. 18: Naměřené zvýšené otáčky



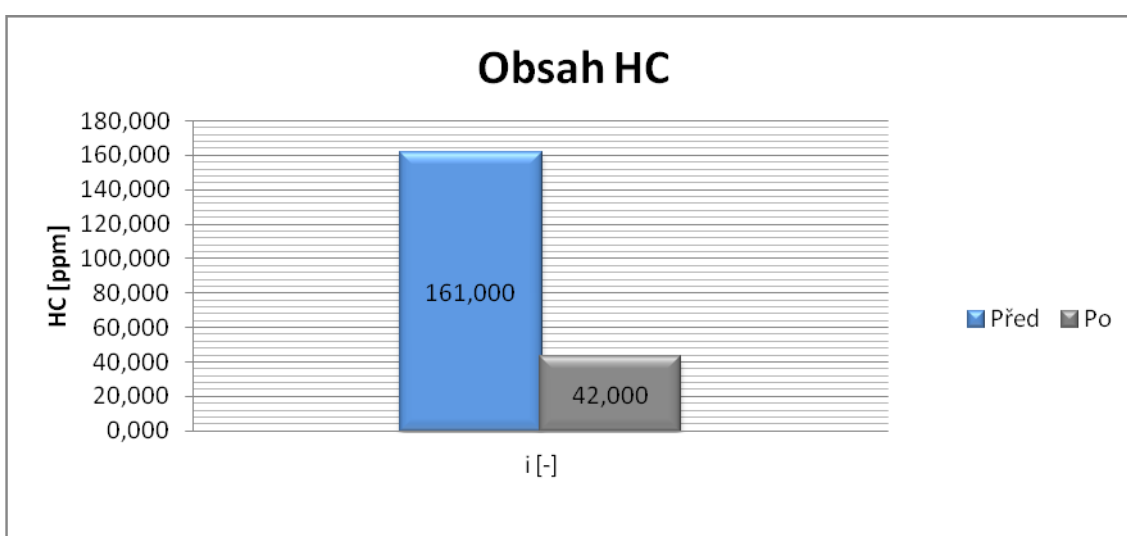
Obr. 19: Naměřený obsah CO



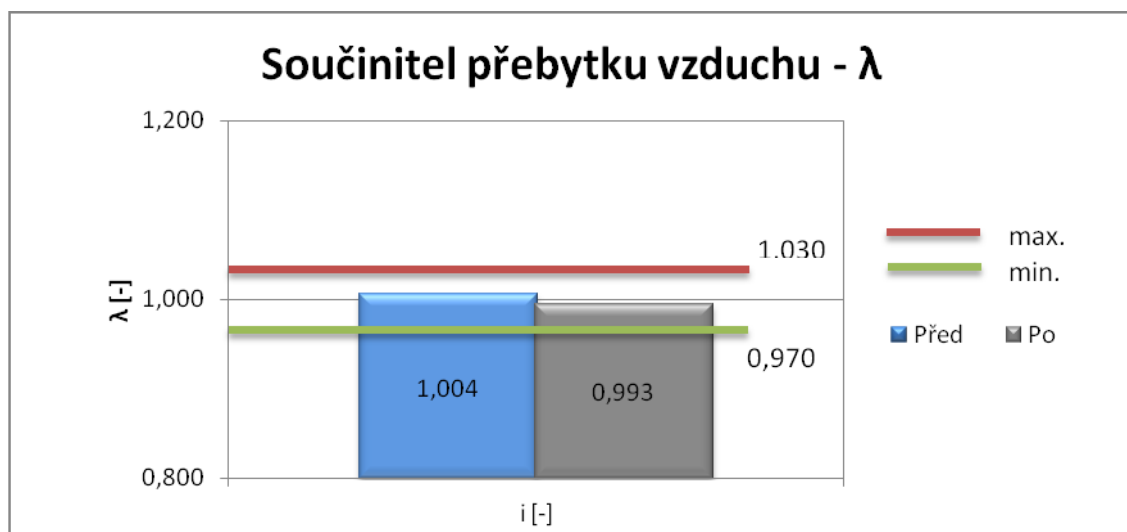
Obr. 20: Naměřený obsah CO₂



Obr. 21: Naměřený obsah O₂



Obr. 22: Naměřený obsah HC



Obr. 23: Naměřená λ

4 ZÁVĚREČNÁ DISKUSE A ZHODNOCENÍ

Naměřené hodnoty ventilových vůlí, kompresních tlaků i emisí při zvýšených otáčkách před provedenou údržbou nesplňovaly předepsané hodnoty a motor neměl pravidelný chod. Všechny provedené úkony údržby tj. seřízení ventilové vůle, výměna oleje a olejového filtru a vzduchového filtru vedly nejen k správným hodnotám kompresních tlaků ve všech válcích a pravidelnému chodu motoru, ale zejména ke snížení emisí. Tyto výsledky zároveň potvrdily, že nadlimitní hodnota obsahu CO ve výfukových plynech při zvýšených otáčkách před údržbou nebyla způsobena ani špatnou funkcí katalyzátoru ani např. prasklými pístními kroužky nebo prasklým těsněním hlavy válců či jinou závadou. Nejpravděpodobnějším důvodem nadlimitní koncentrace CO ve výfukových plynech před údržbou byl nízký kompresní tlak ve III. válci. Jak výměna oleje a olejového filtru, tak výměna vzduchového filtru, pak mohly jen zlepšit podmínky na straně těsnosti válců, tak podmínky na straně přívodu vzduchu a tím pozitivně ovlivnit kvalitu spalování paliva. Hodnota součinitele přebytku vzduchu λ byla před i po údržbě v povolené toleranci. Provedenou údržbou došlo jednoznačně k lepšímu spalování paliva, což také potvrdila jak snížená koncentrace CO z 0,436 na 0,190 % obj., tak také téměř čtyřnásobně snížená koncentrace HC u měření emisí při zvýšených otáčkách. Vyšší koncentraci CO po seřízení u volnoběžných otáček si vysvětlují tak, že před seřízením byla vyšší λ . Bylo by určitě zajímavé provést více měření nebo měnit pouze 1 parametr z prováděné údržby, např. seřízení ventilové vůle, ale to nebylo možné v dohodnutých podmínkách realizovat.

Přesto, že dle předpisu č. 302/2001 Sb. postačí k získání osvědčení o emisích měření pouze koncentrace CO a λ , ve výsledcích uvádím také naměřené koncentrace HC, CO₂ a O₂, jelikož měření těchto dat umožňovalo použité měřicí zařízení. I tato data potvrzují, že údržbou došlo ke zlepšení spalování, protože zároveň se snížením koncentrace CO došlo také ke snížení koncentrace HC, zvýšení koncentrace CO₂ a snížení koncentrace O₂ ve výfukových plynech.

Emisní norma EU (Tab. č.4) sice nelimituje množství CO₂ ve výfukových plynech, ale s ohledem na skutečnost, že CO₂ se podílí na vzniku skleníkového efektu je enormní tlak např. Evropské hospodářské komise na výrobce automobilů, aby se množství CO₂ trvale snižovalo. V případě jedovatého NO_x emisní norma EU sice limit pro NO_x, v emisích uvádí, ale povinnost tento limit dodržovat je na straně výrobce vozidla a ne uživatele.

5 ZÁVĚR

Ve své práci jsem, v souladu se zadáním, popsal zážehový motor a zabýval se problematikou komprese a emisí. Vstřícným postojem SOŠ automobilní v Kyjově, jejímž jsem absolventem, mi bylo umožněno provést jedno měření na jejich výukovém automobilu, které prokázalo, že údržba motoru podle doporučení výrobce zajistí obsah škodlivin (CO) ve výfukových plynech v souladu s předepsanými limity. Dle mého názoru hlavní vliv na snížení emisí mělo seřízení ventilové vůle, což jsem prokázal, bohužel, jen jedním měřením.

Velká část vlastníků motorových vozidel si spojuje údržbu, pravidelný servis a povinnou nálepku STK jen s náklady. Stále důležitější je však nutno dostávat do povědomí všech uživatelů motorových vozidel jejich osobní zodpovědnost k životnímu prostředí. Aby motor produkoval minimum škodlivých emisí, musí být správně seřízen. Proto by údržba dle pokynů výrobce, nejlépe v autorizovaném servisu, měla patřit k samozřejmým povinnostem vlastníka motorového vozidla.

Seznam použitých zkratk a symbolů

D	[mm]	vrtání motoru
z	[mm]	zdvih pístu
p_k	[MPa]	Tlak
M_k	[Nm]	točivý moment motoru
P_e	[kW]	efektivní výkon motoru
t_p	[mth]	čas provozu
λ	[-]	součinitel přebytku vzduchu
HC		Uhlovodíky
CO ₂		oxid uhličitý
CO		oxid uhelnatý
O ₂		Kyslík
HÚ		horní úvrať
DÚ		dolní úvrať
EHK		evropská hospodářská komise
Norma EURO		norma udávající povolené limity škodlivin ve výfukových plynech
SME		stanice měření emisí
STK		stanice technické kontroly
API		jakostní norma - (American Petroleum Institute) pro motorové oleje
SAE		klasifikace (Society of Automotive Engineers) pro motorové oleje
MPI		vícebodové vstřikování benzínu
OHV		ventilový rozvod - ventily umístěny v hlavě motoru, vačková hřídel v bloku motoru

Seznam obrázků

Obr. 1: Zdvihový objem a kompresní poměr	14
Obr. 2: Vnější rychlostní charakteristika motoru	16
Obr. 3: Indikátorový diagram čtyřdobého zážehového motoru	18
Obr. 4: Výfukový systém	22
Obr. 5: Oxidace	23
Obr. 6: Redukce	23
Obr. 7: Rozvodový mechanismus OHV	25
Obr. 8: Mazací soustava motoru	26
Obr. 9: Složení výfukových plynů zážehového spalovacího motoru	31
Obr. 10: Schéma čtyřsložkového infraanalyzátoru výfukových plynů	33
Obr. 11: Naměřené kompresní tlaky	40
Obr. 12: Naměřené volnoběžné otáčky	42
Obr. 13: Naměřený obsah CO	42
Obr. 14: Naměřený obsah CO ₂	42
Obr. 15: Naměřený obsah O ₂	43
Obr. 16: Naměřený obsah HC	43
Obr. 17: Naměřená λ	43
Obr. 18: Naměřené zvýšené otáčky	44
Obr. 19: Naměřený obsah CO	44
Obr. 20: Naměřený obsah CO ₂	44
Obr. 21: Naměřený obsah O ₂	45
Obr. 22: Naměřený obsah HC	45
Obr. 23: Naměřená λ	45

Seznam tabulek

Tab. 1 Tlaky a teploty ve válci čtyřdobého zážehového motoru	18
Tab. 2 Viskozitní třídy motorových olejů podle SAE J300 (7/2001)	28
Tab. 3 API klasifikace soudobých olejů pro benzínové motory	29
Tab. 4 Povolené množství zplodin osobních vozidel v EU	29
Tab. 5 Technické údaje automobilu Škoda Felicia 1.3 MPi 50 kW	36
Tab. 6 Technické parametry - Boch BEA 050	38
Tab. 7 Hodnoty ventilových vůlí	40
Tab. 8 Měření kompresních tlaků	40
Tab. 9 Měření emisí	41

Seznam příloh

Příloha 1: Protokol o měření emisí - před seřizením a údržbou	1
Příloha 2: Protokol o měření emisí - po seřizení a údržbě	2
Příloha 3: Registrační karta - před seřizením a údržbou	3
Příloha 4: Registrační karta - po seřizení a údržbě	3
Příloha 5: Motortester Bosch FSA 740	4
Příloha 6: Identifikační štítek motortesteru Bosch FSA 740 a analyzátoru výfukových plynů BEA 050	4
Příloha 7: Měření emisí - zapojení KTS 540, FSA 740 a BEA 050 k automobilu	5
Příloha 8: Výfuková sonda umístěná do výfuku	5
Příloha 9: Kompresimetr KB 1126	6
Příloha 10: Měření kompresních tlaků	6
Příloha 11: Opatřovaná vložka vzduchového filtru	7
Příloha 12: Seřízení ventilové vůle	7
Příloha 13: Škoda Felicia 1,3 MPi 50kW	8

Seznam použité literatury

a) knižní zdroje

- [1] VLK, František. *Vozidlové spalovací motory*. 1. vyd. Brno: František Vlk, 2003, 580 s. ISBN 80-238-8756-4.
- [2] JAN, Zdeněk a Bronislav ŽDÁNSKÝ. *Automobily*. 5. vyd. Brno: Avid, 2008, 179 s. ISBN 978-80-87143-06-3.
- [3] VLK, František a Bronislav ŽDÁNSKÝ. *Diagnostika motorových vozidel*. 5. vyd. Brno: Prof.Ing.František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství, 2006, 444 s. ISBN 80-239-7064-X.
- [4] VLK, František a Bronislav ŽDÁNSKÝ. *Paliva a maziva motorových vozidel*. 1. vyd. Brno: Prof.Ing.František Vlk, DrSc, 2006, 376 s. ISBN 80-239-6461-5
- [5] KYSELA, Ladislav a Jiří TOMČALA. *Spalovací motory I*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, Strojní fakulta, 2003, 376 s. ISBN 80-248-0435-2.
- [6] KYSELA, Ladislav a Jiří TOMČALA. *Spalovací motory II*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2004, 70 s. ISBN 80-248-0628-2.
- [7] HOREJŠ, Karel a Vladimír MOTEJL. *Příručka pro řidiče a opraváře automobilů*. Vyd. 4. Brno: Littera, 2009, 386 s. Technické novinky. ISBN 978-80-85763-52-2.
- [8] PLŠEK, Bořivoj a Jiří TOMČALA. *Škoda Felicia: opravy, seřizování a údržba vozidla : všechny modely Škoda Felicia od r. 1994*. 1. vyd. Brno: Computer Press, 2006, 200 s. Můj automobil--. ISBN 80-722-6708-6.
- [9] VLK, František. *Motorová vozidla I*. vyd. 1. Brno: Rektorát Vysokého učení technického v Brně, 1989. 224 s. ISBN 80-214-0038-2.
- [10] VLK, František. *Zkoušení a diagnostika motorových vozidel: výkon vozidla, brzdné vlastnosti, převodová ústrojí, řízení, geometrie kol, tlumiče a pružiny, řiditelnost a ovladatelnost, životnostní zkoušky, motor, zapalování, elektronické systémy*. vyd. 1. Brno: Vlk, 2001, 576 s. ISBN 80-238-6573-0.

[11] MATĚJKA, Rostislav. *Vozidlá silniční dopravy I.* vyd. 2. Bratislava: ALFA, 1990. 224 s. ISBN 80-05-00392-7.

[12] MATĚJKA, Rostislav. *Vozidlá silniční dopravy II.* vyd. 2. Žilina: Vysoká škola dopravy a spojov v Žilíně Ediční středisko VŠDS, 1992. 245 s. ISBN 80-7100-074-4.

[13] Zákon č. 302/2001 Sb., o technických prohlídkách a měření emisí vozidel. In: *Sbírka zákonů*. 7. 8. 2001. ISSN 0526-5444.

b) internetové zdroje

[14] Emisní norma EURO. In: *Autolexikon* [online]. 2013 [cit. 2013-05-15]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/emisni-norma-euro/>

[15] Viskozitní třídy motorových olejů podle SAE J300 (7/2001). In: *Petroleum* [online]. 2013 [cit. 2013-02-09]. Dostupné z: <http://www.petroleum.cz/vyrobky/oleje-motorove-specifikace.aspx/>

[16] Klasifikace API. In: *Petroleum* [online]. 2013 [cit. 2013-02-09]. Dostupné z: <http://www.petroleum.cz/vyrobky/oleje-motorove-specifikace.aspx/>

[17] Katalyzátor. In: *Autolexikon.net* [online]. 2013 [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/katalyzator>

[18] Plynové analyzátory. In: *BOSCH* [online]. 2013 [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <http://diagnostic.bosch.ru/language1/catalogue/emission/analysis-gas/analysis-gas-bea050/index.html>

[19] Motory a jízdní vlastnosti. In: *Technická data ŠKODA Felicia* [online]. 2013 [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <http://www.vozyskoda.wz.cz/felicia/techdata.htm>

[20] Výfuky. In: *Výfuky.net* [online]. 2013 [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <http://www.vyfuky.net/vyfukove-systemy/>

[21] Ventilový rozvod v spalovacím motore automobilu (SV, OHV, OHC, DOHC). In: *Autorubik* [online]. 2013 [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <http://www.autorubik.sk/technika/ventilovy-rozvod-v-spalovacim-motore-automobilu-sv-ohv-ohc-dohc/>

[22] CEDRYCH, Mario René. *Automobily Škoda Felicia* [online]. 3. rozš. vyd. Praha: Grada Publishing, 1998, 521 s. [cit. 2013-05-17]. ISBN 80-716-9718-4.

[23] RAUSCHER, Jaroslav. In: *Vozidlové motory* [online]. 2012 [cit. 2012-11-16]. Dostupné z: <http://www.iae.fme.vutbr.cz/opory/Vozidlove.motory.pdf>

[24] Schéma čtyřsložkového infraanalyzátoru výfukových plynů. In: *Měření emisí* [online]. 2003 [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <http://ottp.fme.vutbr.cz/skripta/vlab/vozidla/ka01-08.htm>